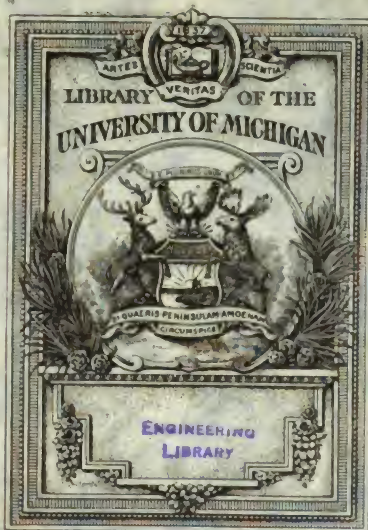

1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
ENGINEERING
LIBRARY



ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

TOME XX.

PARIS. — IMPRIMÉ PAR E. THUNOT ET Ce,
rue Racine, 26, près de l'Odéon.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR;

LOIS, DÉCRETS, ARRÊTÉS ET AUTRES ACTES

CONCERNANT

L'ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES.

3e SÉRIE.

1860

2e SEMESTRE.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Vve Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

ANNALES

DES

PONTS ET CHAUSSÉES.

MÉMOIRES ET DOCUMENTS

RELATIFS

A L'ART DES CONSTRUCTIONS

ET AU SERVICE DE L'INGÉNIEUR.

Pour expliquer la publication de la note ci-après de M. Beaudemoulin, l'éditeur des *Annales* doit insérer la pièce suivante (*) :

L'an mil huit cent soixante, le vingt-sept juillet, à la requête de M. Louis-Alexis Beaudemoulin, ingénieur en chef des ponts et chaussées en retraite, chevalier de la Légion d'honneur, demeurant à Paris, rue Montholon, n° 12, élisant domicile en ma demeure;

J'ai, Charles-Pierre Doyen, huissier près le tribunal civil de la Seine séant à Paris, y demeurant, rue Saint-Honoré, n° 243, soussigné;

Fait sommation à MM. Dalmont et Dunod, libraires-éditeurs des *Annales des ponts et chaussées*, en leur éta-

---

(1) Les lecteurs des *Annales* comprendront qu'il ne soit fait aucune réponse à M. Beaudemoulin.

(*Note du secrétariat.*)

blissement à Paris, quai des Grands-Augustins, n° 49, où étant et parlant à un homme à leur service ainsi déclaré;

D'avoir à faire insérer, dans le premier cahier des *Annales des ponts et chaussées* à publier après la présente sommation, la réponse qui leur est adressée par le requérant, laquelle se trouve ci-après. Leur faisant également sommation, pour garantie de l'exactitude de l'insertion de ladite réponse, de délivrer préalablement au requérant deux épreuves, sur l'une desquelles il mettra son *bon à tirer* et fera, au besoin, les petits retranchements que la composition typographique montrerait nécessaires pour ne pas excéder l'étendue fixée par la loi; ledit requérant offrant de payer la composition de la partie retranchable.

RÉPONSE

A l'article publié par M. l'ingénieur VAUDREY *dans la Chronique des* ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES, 1859, *4e cahier.*

L'article de M. Vaudrey commence par cette phrase : « Au pont Saint-Michel nous avons employé, M. l'ingénieur » en chef de Lagalisserie et moi, douze hommes pour dé- » cintrer trois arches à la fois, un homme par ligne de » points d'appui, et non vingt-quatre, comme M. l'in- » génieur en chef Beaudemoulin l'énonce page 188 du » 2e cahier de 1859 des *Annales.* »

L'auteur se pose ici comme ayant eu, avec son ingénieur en chef, l'initiative du procédé de décintrement par un très-petit nombre d'hommes;—il a, en effet, employé ce procédé *avant* qu'il n'eût paru dans le 3e cahier 1857 des *Annales*, mais APRÈS que je le lui avais *fait connaître* en particulier.—

Il en avait alors si peu l'idée qu'il appela, *en tiers*, son maître charpentier, pour lui faire apprécier mes explications. — De plus, j'ai remis au même ingénieur, quelques jours avant le décintrement, mon article lui-même, *imprimé en épreuve*, le tirage n'étant pas fait encore.

Quant aux *vingt-quatre hommes*, j'ai porté ce nombre parce qu'il m'a été dit par *trois* des employés du service, le *lendemain même* du décintrement. — Ce fait se trouve constaté par une note que j'ai écrite *le même jour*, sur mon *agenda-memento*, et que je suis obligé, pour ma justification, de reproduire *textuellement*, nonobstant ses incorrections (1).

Cette note, dont M. l'inspecteur général Mary a pu, pendant 15 jours, vérifier l'exactitude et la sincérité, est du 9 décembre 1857 ; elle est contraire à l'affirmation publiée 18 *mois après* par M. Vaudrey. — Je n'entends pas insister sur la contradiction, je veux seulement établir que j'ai pu, sans être taxé de légèreté, porter ce chiffre de 24 hommes. — Il était d'ailleurs défavorable au sujet que

---

(*) *Mardi* 8 *décembre* 1857, « décintrement du pont Saint-Michel. les trois arches en même temps, et suivant les procédés différentiels que j'ai indiqués à M. Vaudrey. J'y vais le mercredi, » sans le trouver; mais les employés me disent qu'ils ont suivi mes » instructions (Vaudrey leur a lu ma notice) et que tout s'est passé » à merveille. Il n'y a pas eu de tassement appréciable ; seulement » ils ont employé huit hommes par arche. On n'a pas mis les petites » planchettes que j'avais indiquées, surtout parce que les orifices » ne correspondaient pas aux diagonales des plates-formes. Les » bois paraissent avoir un peu crié ; cependant un des employés dit » que c'était seulement le sable ; celui-là me dit que les bouchons » sont parfois cassés ou coupés par la tôle. Je conclus de là un petit » perfectionnement applicable aux bouchons; c'est de les envelopper d'un linge de manière à les retirer d'une pièce. »

On voit, par cette note, que je visitais familièrement les ateliers. Cela tient à ce que M. l'ingénieur Vaudrey, apprenant un jour ma présence parmi les curieux du quai, m'a fait prier de descendre, puis m'a bien engagé à revenir souvent : de là nos premières relations.

je traitais, car je voulais prouver, par un exemple, la possibilité de faire un décintrement avec très-peu d'ouvriers ; — 12 m'allait beaucoup mieux que 24.

M. l'ingénieur Vaudrey critique vaguement le petit mécanisme dont j'ai donné la description ; il dit : « je ne serais » tranquille qu'en vérifiant ou faisant vérifier chaque fois » si le balai a bien fonctionné ; alors autant vaut faire opé- » rer le balayage par une main intelligente. »

J'ai cherché, tant il est étrange, le sens de ces paroles appliquées au procédé *simultané*. — Elles reviennent à dire : autant vaut placer une main *intelligente* à chaque cylindre, comme on le faisait avant cette grande simplification donnée par le procédé *différentiel*.

Celui-ci, que je suis heureux d'avoir trouvé, est assurément fort bon, simple, économique, et très-convenable pour les cas ordinaires. — Mais, pour des cintres spéciaux, présentant *un grand nombre* de points d'appui, le procédé *simultané* qui agit sur *tous à la fois* et non plus par *intermittences*, qui évite à quelques agents une promenade *très-prolongée*, assez dangereuse, devant engendrer l'ennui et la négligence, appellera certainement l'attention des ingénieurs ; ils comprendront que l'inventeur du système principal, maintenant *si répandu*, et de perfectionnements considérables, ne peut proposer qu'une chose sérieuse, digne d'examen, ayant toutes les chances probables de succès, et que la *tranquillité personnelle* de M. Vaudrey n'est pas une raison suffisante pour s'abstenir d'un essai.

Cet ingénieur prend ensuite la défense de l'emploi du bois de sapin dans les caissons de fondation, composés d'ailleurs *suivant mon système*. — Il dit : « Le gauchisse- » ment de ceux du pont Saint-Michel doit être attribué uni- » quement à leur grande longueur (38^{m}.38 à la base). »

C'est là une erreur. — Si le poids *spécifique* des caissons eût été le même que celui de l'eau, *ils n'auraient pas gauchi*,

étant immergés, quelle que fût leur longueur.—Donc cette dimension n'est ni la cause *unique*, ni même la principale ; elle peut agir seulement comme bras de levier.

M. Vaudrey se trompe encore : 1° quand il dit « ce gauchissement n'a pas présenté *le moindre inconvénient* », et donne ensuite le détail des ouvrages accessoires qu'il vient d'employer pour prévenir le gauchissement ; — quand *il ne tient pas compte* de ces ouvrages dans les raisonnements de *chétive* économie qu'il allègue. — 2°, quand il écrit : « ce n'est qu'après la pose de *toutes* les palplanches, qui a » été faite avec *la plus grande facilité* », et n'excepte pas le 1er caisson où *le contraire* a eu lieu, par cette négligence indiquée dans ma précédente notice, et reproduite, l'année suivante, au pont de *Solferino ;* — 3° quand il croit très-difficile de faire *voyager en grand* un caisson qu'il vient de dire monté et immergé partiellement, *à proximité du travail ;* quand il ajoute « les circonstances ne m'ont pas permis d'essayer », tandis qu'elles étaient *si urgentes* que la pose de la 1re assise de la 2e pile du pont *au Change* n'a pas même pu être commencée avant la crue d'automne, qui a arrêté les travaux.

L'emploi du bois de sapin, pour des caissons de fondation, est une faute évidente et grave, en raison de la durée du sapin, *bien moindre* que celle du chêne, en raison aussi des inconvénients de sa légèreté *spécifique*. —La *persistance* pour le pont *au Change*, l'*imitation aggravée* (ossature aussi en sapin) pour celui de *Solférino*, sont des exemples d'autant plus dangereux *qu'ils viennent de Paris.* — Les signaler est un devoir d'ingénieur et de citoyen, bien plus qu'un acte de critique.

La note de M. l'ingénieur Vaudrey n'a pas le *caractère d'utilité*, qui la justifierait *pleinement*, nonobstant *nos relations antérieures*, car elle effleure à peine et assez malheureusement quelques questions techniques ; — l'auteur semble, par le peu d'étude qu'il a mis dans cette petite agres-

sion, avoir prévu qu'il n'aurait pas à craindre une réponse.

La mienne, en effet, a été, après six mois de délai, REFUSÉE par la commission *des Annales.* — Ce refus est évidemment *étranger à toute considération d'art*; il est contraire aux droits de la défense, aux sentiments d'équité, d'intérêt public et même de convenance : — Il m'oblige, après de nombreuses réclamations verbales et *deux lettres laissées sans réponses*, à protester par toutes les voies légales, et à retrancher de ma notice, afin de la réduire à l'étendue fixée par la loi, plusieurs questions utiles, que j'avais traitées incidemment.

BEAUDEMOULIN.

Déclarant à MM. Dalmont et Dunod ès noms, que, faute par eux d'obtempérer à la présente sommation dans le délai qu'elle prescrit, le requérant se pourvoira contre eux par toutes les voies de droit pour les y contraindre et notamment à fins de dommages-intérêts.

A ce qu'ils n'en ignorent.

Dont acte sous toutes réserves, et je leur ai, domicile et parlant comme dessus, laissé cette copie.

Coût : onze francs dix centimes.

C. Doyen.

N° 261

RAPPORT

Sur les expériences faites par la Compagnie concessionnaire du chemin de fer du Nord, pour l'amélioration des voies.

Par M. Edouard BRAME, ingénieur des ponts et chaussées.

Circulaire ministérielle du 17 *novembre* 1858. — Par une circulaire en date du 17 novembre 1858, S. Ex. M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics, a demandé aux ingénieurs chargés du service du contrôle des chemins de fer du Nord d'indiquer, dans un rapport spécial, les essais de toute nature qui ont eu lieu, sur ce réseau, pendant l'année 1858.

La plupart des expériences qui sont faites sur le chemin de fer du Nord, afin d'améliorer le service d'exploitation, se rapportent au matériel roulant et aux signaux ; elles doivent être indiquées et discutées par M. l'ingénieur des mines attaché au service du contrôle.

Nous n'aurions, en ce qui concerne les voies, que peu de choses à dire, si nous devions nous borner à signaler les procédés en expérimentation ; tout au plus pourrions-nous parler de l'éclissage, des changements de voies et mentionner les rails en acier. Sur le chemin de fer du Nord, en effet, les essais qui s'opèrent, sur les voies, ne tardent pas à être concluants. Avec l'énorme circulation qui a lieu, on reconnaît promptement si des procédés nouveaux constituent des améliorations, ou s'ils ne présentent pas d'avan-

tages. Dans ce dernier cas, les essais tentés sont abandonnés, et ils n'offrent qu'un intérêt secondaire; dans le premier cas, au contraire, les procédés sont largement appliqués.

Le plus souvent, du reste, ces applications se rapportent à des procédés déjà anciens, dont l'expérimentation sur des lignes d'un faible parcours, n'avait donné aucun résultat bien concluant : telles sont les applications du serre-rails Barberot, des éclisses et des traverses Pouillet, faites depuis plusieurs années, dans de grandes proportions, par la Compagnie du chemin de fer du Nord.

Nous croyons que nous devons comprendre d'une manière plus large le programme qui nous est donné, et que nous ne devons pas nous borner à décrire les expériences qui s'effectuent actuellement. Nous pensons entrer plus complétement dans l'esprit de la circulaire en indiquant les améliorations apportées aux voies de la ligne du Nord, depuis l'époque du remplacement des rails des voies principales.

Cette marche permettra de signaler les applications qui constituent l'expérience, sur une grande échelle, de divers systèmes essayés déjà dans des conditions favorables.

Le travail ainsi conçu présentera, en tout cas, quelque intérêt, par les renseignements qu'il donnera sur les diverses parties de voies dont se compose le réseau du Nord.

Dispositions des anciennes voies. — Les voies posées lors de l'établissement du chemin de fer du Nord, étaient en rails à double champignon symétrique, de $4^{m}.50$ de longeur, pesant 30 kilogrammes par mètre courant et reposant, par l'intermédiaire de coussinets en fonte, sur quatre traverses en chêne, dont une de joint.

Peu de temps après la mise en exploitation, la Compagnie reconnut que la résistance des rails n'était pas en rapport avec le poids du matériel roulant, et que le seul

moyen de prolonger leur durée et d'assurer la sécurité de la circulation, était de diminuer les portées, en ajoutant une traverse par longueur de rails.

Malgré cette consolidation, les voies ne tardèrent pas à se détériorer ; un grand nombre de rails qui avaient dû être retournés, par suite d'usure, se rompaient au passage des trains, et il fallut songer à les remplacer (notes, n°ˢ 1, 2 et 3).

Lorsque le renouvellement des voies de la ligne de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, était devenu indispensable, l'expérience avait démontré la nécessité : d'augmenter le poids des rails et le nombre de leurs supports ; de consolider les joints, et de modifier le profil du rail, dont les champignons n'opposaient pas une résistance suffisante à l'écrasement.

Ces améliorations ont été introduites dans la nouvelle pose, et l'on peut dire que c'est de la substitution que date le progrès réel des voies, sur le réseau du Nord.

Chaque rail, pesant 37 kilogrammes par mètre, repose sur sept traverses.

Les joints sont devenus moins nombreux par suite de la longueur des rails, qui a été portée de $4^{m}.50$ et $5^{m}.00$ à $6^{m}.00$; de plus, l'éclissage des rails a, pour ainsi dire, supprimé la solution de continuité qui existait précédemment.

Enfin, le champignon des rails a été modifié de manière à présenter plus de résistance.

Deux systèmes de voie ont été appliqués dans la substitution : la voie, qui se compose de rails à double champignon posés sur traverses ordinaires ou sur traverses Pouillet, par l'intermédiaire des coussinets en fonte ; et la voie en rails de forme Vignole, posés directement sur les deux espèces de traverses.

Ces deux systèmes vont être successivement décrits (notes, n°ˢ 4 et 5).

VOIE EN RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON SYMÉTRIQUE.

Forme, dimensions et dispositions de la voie. — Les rails reposent, par l'intermédiaire de coussinets, sur des traverses placées normalement à l'axe du chemin de fer (Pl. 177, *fig.* 1 et 2).

Les joints sont en porte-à-faux et éclissés ; chaque rail est supporté par sept traverses espacées de manière à donner les écartements ci-après, comptés à partir des axes des coussinets :

	mèt.
Deux portées de 0^m.30, entre chacune des extrémités du rail et les traverses adjacentes.	0.60
Six portées intermédiaires de 0^m.90.	5.40
Longueur égale à celle du rail.	6.00

Forme, poids et longueur des rails. — Les rails dits à *double champignon symétrique* (Pl. 177, *fig.* 3), ont 0^m.134 de hauteur totale et 0^m.102 de hauteur entre les points correspondant à la grande largeur des champignons ; cette largeur est elle-même de 0^m.062. Ils pèsent 37 kilogrammes par mètre courant. Leur longueur est, en général, de 6^m.00 ; cependant on a admis des longueurs exceptionnelles de 5^m.96, 5^m.10, 5^m.06, 4^m.20 et 4^m.12 : les premières, celles voisines de 5 mètres, sont nécessaires pour la pose dans les courbes ; celles voisines de 4^m.10 résultent de facilités accordées aux usines.

Les rails sont percés, à chacune de leurs extrémités, de deux trous de 0^m.023 de diamètre, pour l'application des éclisses.

Les coussinets (Pl. 177, *fig.* 4) sont composés d'une semelle servant de base à deux joues ou saillies entre lesquelles le rail est maintenu. La semelle et les joues sont coulées d'une seule pièce. Chacune des saillies est soutenue par deux contreforts, entre lesquels est percé, dans la semelle, le trou qui reçoit la chevillette. Le fond de la chambre du

coussinet est concave, en sorte que le champignon inférieur du rail s'y loge exactement. La forme de la joue intérieure est telle que le rail ne la touche que vers le bas et vers le haut.

L'épaisseur de la semelle est de $0^{m}.052$; la joue extérieure à $0^{m}.110$ de hauteur, et la joue intérieure $0^{m}.088$; elles sont écartées de $0^{m}.068$.

Le poids moyen du coussinet est de $8^{k}.800$.

Forme et poids des chevillettes.—Les chevillettes (Pl. 177, *fig.* 5) ont la forme d'un tronc de pyramide octogonale ; leur base supérieure est surmontée d'une tête demi-sphérique forgée avec le corps de la chevillette.

La chevillette a $0^{m}.148$ de longueur totale ; le diamètre du cercle inscrit dans sa basse supérieure est de $0^{m}.018$; celui du cercle inscrit dans sa base inférieure est de $0^{m}.016$. La tête a $0^{m}.016$ d'épaisseur ; son diamètre est de $0^{m}.032$.

Une chevillette pèse moyennement $0^{k}.350$.

Forme et dimensions des coins.— Les coins (Pl. 177, *fig.* 6) sont des prismes droits, en cœur de chêne sans aubier, sciés suivant le fil du bois et rabotés sur toutes leurs faces ; ils ont $0^{m}.248$ de longueur, sur $0^{m},066$ de largeur. Leur épaisseur va en augmentant depuis le bout par lequel on les introduit dans le coussinet, jusqu'à l'extrémité qui reçoit le choc du marteau. Les arêtes de ce dernier bout sont rabattues en chanfrein pour éviter que le bois ne se fende par la percussion. L'épaisseur, à l'une des extrémités, est de $0^{m}.047$, et à l'autre, de $0^{m}.054$.

Les faces latérales présentent une courbure telle, qu'elles sont en contact parfait, sur toute leur longueur, avec la grande joue du coussinet d'une part, et avec le rail d'autre part.

Forme et poids des éclisses.—Les éclisses pour rails à double champignon symétrique (Pl. 177, *fig.* 7), sont des bandes de fer méplates, dont les coupes transversales sont représentées par les *fig.* 8 et 9 ; elles sont percées de quatre trous

circulaires de $0^m.020$ de diamètre, alignés suivant l'axe longitudinal des éclisses. Le centre des deux trous extrêmes est distant de $0^m.05$ des bouts de l'éclisse, et de $0^m.10$ du centre des trous intermédiaires, qui sont eux-mêmes espacés de $0^m.15$ d'axe en axe. Tous ces trous correspondent exactement à ceux des rails.

Les éclisses sont courbées transversalement suivant un arc de cercle, dont la flèche est de $0^m.002$ sur la face concave ; elles ne touchent le rail que sur leurs côtés, taillés en chanfrein.

Sur la face convexe de l'éclisse placée extérieurement par rapport à la voie, on a pratiqué une rainure de $0^m.003$ de profondeur, sur $0^m.022$ de largeur au fond, et de $0^m.024$ à la surface, dans laquelle se logent les têtes des boulons, de manière à ce qu'ils ne puissent tourner quand on serre les écrous, avec une rondelle intermédiaire, contre la face convexe de l'éclisse intérieure.

Les éclisses, tant extérieures qu'intérieures, ont $0^m.45$ de longueur et $0^m.0825$ de largeur ; leur épaisseur est de $0^m.021$.

Le poids moyen des éclisses, à rainures ou extérieures, est de $4^k.500$;

Celui des éclisses, sans rainure ou intérieures, est de $4^k.700$.

Forme et poids des boulons, des rondelles et des écrous. — Les boulons (Pl. 177, *fig.* 10) ont une forme cylindrique ; ils sont taraudés sur $0^m.028$ de longueur, et surmontés d'une tête méplate, forgée avec le reste de la pièce.

Le diamètre du boulon est de $0^m.019$, la hauteur de la tête est de $0^m.017$, son épaisseur de $0^m.020$, et sa longueur de $0^m.036$. La longueur totale du boulon est de $0^m.107$.

Les rondelles sont également cylindriques ; leur diamètre est de $0^m.040$ et leur épaisseur de $0^m.0025$. Le diamètre du trou dont elles sont percées est de $0^m.020$.

Les écrous sont des prismes à bases rectangulaires de

$0^{m}.034$ sur $0^{m}.034$, leur hauteur est de $0^{m}.020$. Les angles de la face s'appliquant contre la rondelle sont rabattus en chanfrein.

On a ménagé dans le calcul du diamètre des boulons par rapport à celui des trous des rails, un jeu de 4 millimètres pour pourvoir aux effets de la dilatation ou de la contraction des rails.

Un boulon, sa rondelle et son écrou pèsent ensemble et en moyenne $0^{k}.427$.

VOIE EN RAILS VIGNOLE.

Pendant les années 1854, 1855 et 1856 (*), 650 kilomètres de simple voie ont été substitués sur la ligne de Paris en Belgique par Lille et par Valenciennes. Sur cette longueur, le rail Vignole figure pour 100 kilomètres, répartis entre Amiens et la frontière par Lille. C'est la première expérimentation qui ait été faite de ce système sur le réseau du Nord, et elle a été tellement concluante que la Compagnie n'a pas hésité à admettre exclusivement le rail Vignole sur les lignes de Tergnier à Laon, de Busigny à Somain, et de Paris à Creil, par Chantilly, toutes trois exploitées aujourd'hui. C'est la voie Vignole qui doit remplacer sur la ligne d'Amiens à Boulogne les anciennes voies en rails de 30 kilogr., à double champignon; c'est elle enfin qui sera admise sur toutes les autres lignes concédées.

(*) Le développement total de la ligne de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, est de 672 730 mètres de simple voie; la différence qui existe entre ce chiffre et celui de 650 000 mètres résulte :

1° Du non-remplacement des rails de 30 kilogrammes sur les raccordements de Douai et de Fives et sur une partie de celui de Longueau;

2° D'une substitution qui avait été faite, plusieurs années auparavant, entre Précy et Creil, où les rails de 30 kilogrammes avaient été remplacés par des rails de 37 kilogrammes, modèle du littoral et de Creil à Saint-Quentin. Ces derniers rails ont depuis été retirés en partie pour être utilisés dans l'entretien de ces lignes.

On sait que le rail Vignole n'exige pas de coussinets, et qu'il se pose directement sur les traverses dans des entailles préalablement pratiquées à cet effet. Des crampons placés à l'intérieur et à l'extérieur de la voie le maintiennent solidement sur les traverses.

Le rail Vignole n'a pas, il est vrai, comme le rail à double champignon, la propriété du retournement sens-dessus-dessous; mais cette propriété, sur laquelle on avait beaucoup trop compté, n'a pas donné tous les résultats qu'elle paraissait promettre dès le début. On a pu se convaincre, en effet, que les rails retournés ne produisaient plus qu'un service fort médiocre, et qu'ils étaient exposés à de nombreuses ruptures. De plus, les calculs ont démontré que l'économie résultant, dans la pose Vignole, de la suppression des coussinets ajoutée aux intérêts cumulés pendant la durée présumée de la voie, était supérieure au bénéfice produit par le retournement.

Ces considérations indiquées dans la note n° 6 ont amené la compagnie du Nord à exclure définitivement le rail à double champignon.

Dans la pose Vignole (Pl. 177, *fig.* 11 et 12), chaque rail est supporté par deux traverses de joint et six traverses intermédiaires, divisant sa longueur en sept portées, savoir :

	mèt.
Deux portées de 0m.75, entre les joints et les traverses adjacentes; ensemble	1.50
Cinq portées de 0m.90 entre les appuis intermédiaires, d'axe en axe; ensemble	4.50
Longueur égale à celle du rail	6.00

Les joints sont éclissés comme dans la pose des rails à double champignon; mais ils ne sont pas en porte-à-faux, ainsi que l'indique du reste la disposition des traverses.

Forme, poids et longueur des rails. — Les rails dits Vignole (Pl. 177, *fig.* 13) n'ont qu'un seul champignon de 0m.062 de largeur à la partie supérieure; le champignon inférieur est

remplacé par une semelle de $0^m.105$ de largeur, sur $0^m.010$ d'épaisseur, se raccordant avec le corps du rail par un double renflement qui prend naissance au bord même de la semelle. Ces rails ont $0^m.125$ de hauteur totale ; ils sont fixés sur chaque traverse au moyen de deux crampons en fer; de telle sorte que le nombre des crampons, à chaque extrémité des traverses, est de deux pour les traverses intermédiaires, et de quatre pour les traverses de joints.

Les rails Vignole sont de même longueur et de même poids que les rails à double champignon ; ils sont également percés, à chacune de leurs extrémités, de deux trous de $0^m.023$ de diamètre pour l'application des éclisses.

Forme et poids des crampons. — Les crampons (Pl. 177, *fig.* 14) sont formés d'une tige aplatie, à l'une de leurs extrémités, sur cinq centimètres de longueur, et terminée à l'autre extrémité par une tête forgée d'une seule pièce avec le corps de la tige sur laquelle elle fait saillie d'un côté seulement.

La section faite dans la tige, normalement à sa longueur, est un carré de 0^m015 de côté; la tête a $0^m.030$ de longueur, $0^m.015$ de largeur, et $0^m.020$ de hauteur.

La longueur totale de la tige est de $0^m.130$.

Le poids moyen d'un crampon est de 300 grammes.

Dans la première expérimentation qui a été faite de la voie Vignole, on a remarqué que la trop grande longueur de la pointe du crampon avait l'inconvénient de fendre les traverses, lorsque celles-ci n'étaient pas percées assez avant. Cet inconvénient a conduit à une première modification : toute la partie utile du crampon a été conservée, seulement la pointe a été refoulée de manière à présenter à son extrémité un carré de $0^m.010$ de côté. La longueur totale du crampon s'est ainsi trouvée réduite à $0^m.130$ au lieu de $0^m.150$; chaque pièce pesant néanmoins, comme précédemment, 300 grammes.

Une mesure plus radicale a été récemment adoptée.

Tire-fond pour voie Vignole. — L'expérience a fait reconnaître que les crampons ne peuvent généralement être arrachés des traverses qu'avec beaucoup de difficultés et des efforts considérables ; il en résulte alors de grandes pertes de temps et des embarras de tous genres, chaque fois que les agents de l'entretien ont à remplacer un rail, soit par suite d'avarie, soit pour tout autre motif.

D'un autre côté, le crampon s'enfonçant à coups de masse, il se trouve parfois décapité par un coup donné en trop ou mal appliqué ; et alors non seulement il ne remplit plus son but, mais il devient impossible de le retirer de la traverse. D'ailleurs, le rail, en s'appuyant dans l'entaille par le fait du passage des trains, prend du jeu sous le crampon ; il est ensuite difficile de rétablir l'adhérence sans détacher la tête du crampon.

La compagnie a pensé qu'on obvierait à ces inconvénients en substituant des tire-fond aux crampons employés jusqu'à présent.

Quarante mille tire-fond, correspondant à 7 500 mètres de simple voie, ont déjà été mis en œuvre, vers Abbeville, dans le renouvellement des voies de la ligne d'Amiens à Boulogne, et de nouveaux marchés ont été passés tout récemment pour 555 tonnes à fournir pour les années 1860 et 1861.

Chaque rail de 6 mètres de longueur étant fixé sur les traverses par 16 tire-fond pesant en moyenne 265 grammes, on voit que les nouvelles commandes correspondent à 392 688 mètres de simple voie.

Sans aucun doute, les tire-fond remplaceront avantageusement les crampons. Il n'est guère supposable, en effet, qu'une fois vissés dans la traverse, ils puissent être arrachés par la pression latérale. D'un autre côté, les cantonniers pourront toujours les enlever ou les serrer au moyen d'une clef, lorsque les réparations de la voie l'exigeront.

Du reste, les tire-fond ne coûtent pas plus cher que les

crampons ; ils sont plus courts, mais ils ont la même longueur utile.

Les tire-fond (Pl. 177, *fig.* 19) affectent la forme cylindrique; ils sont taraudés sur 0^m.082 de longueur et surmontés d'une tête plate hexagonale forgée avec le reste de la pièce.

Le diamètre de la partie taraudée est de 0^m.017 ; la partie non taraudée, de 0^m.013 de longueur, va en s'évasant légèrement vers la tête, où son diamètre est de 0^m.018.

L'épaisseur de la tête est de 0^m.012 ; le diamètre du cercle inscrit est de 0^m.040.

La longueur totale du tire-fond est de 0^m.107.

Forme et poids des éclisses. — Les éclisses pour rails Vignole (Pl. 177, *fig.* 16, 17, 18) ont à peu près les mêmes dimensions que celles pour rails à double champignon ; toutefois elles ne peuvent être indifféremment employées pour les deux espèces de rails.

Les poids moyens des éclisses pour rails Vignole sont les suivants :

Éclisse à rainure ou extérieure.	4^k.560
Éclisse sans rainure ou intérieure.	4^k.750

Forme et poids des boulons, des rondelles et des écrous. — Les boulons (Pl. 177, *fig.* 15) employés pour l'éclissage des rails Vignole ont une longueur de 0^m.112 et sont taraudés sur 0^m.033 ; ils diffèrent ainsi de ceux qui servent pour les rails à double champignon.

Les rondelles et les écrous sont exactement conformes aux pièces correspondantes de la voie à double champignon.

TRAVERSES POUILLET.

Les traverses Pouillet, expérimentées depuis 1852 sur le chemin de fer de Ceinture, ont été appliquées au Nord, lors de la substitution, sur d'assez grandes longueurs, principalement entre Breteuil et Amiens, et entre Douai et la frontière par Valenciennes ; une autre application im-

portante en a été faite sur la ligne de Saint-Quentin à Erquelines.

Ces traverses sont formées de deux plateaux ou tables de pression, dont le centre correspond au joint des rails ou au centre des coussinets (Pl. 178, *fig.* 1 et 2). Les plateaux sont reliés entre eux, dans les traverses de joints (Pl. 178, *fig.* 3), par deux membrures espacées de $0^m.70$ d'axe en axe, et par une seule membrure dans les traverses intermédiaires (Pl. 178, *fig.* 4).

Les côtés extérieurs des tables de pression sont écartés de $2^m.02$. Les membrures ont, dans les deux cas, $2^m.12$ de longueur, $0^m.17$ de largeur et $0^m.06$ d'épaisseur. Les plateaux sont simplement cloués, sans entailles, sous les membrures.

Les tables de pression des traverses de joints sont formées de deux plats-bords reliés entre eux de manière que le joint d'assemblage, disposé dans le sens des rails, soit toujours à $0^m.06$ au moins des chevillettes servant à fixer les coussinets. Ces tables ont $1^m.40$ de longueur et $0^m.60$ de largeur; il en est pour lesquelles ces dimensions sont réduites à $1^m.20$ et $0^m.50$; leur épaisseur est, en tous cas, de $0^m.055$.

La traverse de joint sert ainsi pour la pose des quatre coussinets adjacents.

Les tables de pression des traverses intermédiaires sont aussi formées de deux plats-bords assemblés comme ceux des traverses de joints; elles ont $0^m.60$ de longueur, $0^m.50$ de largeur et $0^m.055$ d'épaisseur.

Le nombre des traverses Pouillet actuellement en service, sur le réseau du Nord, est de 218481, réparties de la manière suivante :

1° Voies en rails à double champignon.

	Voie de gauche.	Voie de droite.
Ligne de Paris à Creil, par Pontoise.	»	4.109
Id. de Creil à Amiens.	30.810	9.215
Id. d'Amiens à la frontière, par Valenciennes.	76 164	12.191
Id. de Saint-Quentin à Erquelines.	33.257	45.388
2° Voies en rails Vignole.		
Ligne de Paris à Creil, par Pontoise.	»	4.080
Id. d'Amiens à Boulogne.	0.905	1.221
Id. de Busigny à Somain.	»	1.141
	141 136	77.345
Total.	218.481	

Ces 218481 traverses correspondent à une longueur de 187270^{m} de simple voie.

Toutes les traverses Pouillet employées ont été préalablement soumises à l'une des préparations suivantes, dans le but de les protéger plus ou moins longtemps contre les altérations des agents atmosphériques :

Application pure et simple d'un enduit de goudron ;

Application d'un composé de goudron, de poix résine et d'essence de térébenthine ;

Injection de créosote brute (produit de la distillation du goudron des usines à gaz) dans le tissu ligneux, par une pression en vase clos, après l'expulsion de l'air ;

Injection de sulfate de cuivre d'après le procédé Boucherie.

Les traverses préparées d'après ce dernier procédé sont en essence de hêtre ; toutes les autres sont en chêne.

Boulons à crapaud pour rails Vignole sur traverses Pouillet. — La pose du rail Vignole sur traverses Pouillet a nécessité l'emploi de ferrures de serrage spéciales, remplaçant le crampon ou le tire-fond admis dans la pose du même rail sur traverses ordinaires, et ayant pour but de maintenir dans une adhérence parfaite les deux parties constitutives de la traverse Pouillet, la membrure et le plateau.

Ces ferrures se composent d'un boulon avec son écrou, d'une rondelle et d'un crapaud. Toutes ces pièces sont en fer forgé, sauf le crapaud qui est en fonte.

Les boulons, de forme cylindrique, ont $0^m.018$ de diamètre ; ils sont taraudés, à l'une de leurs extrémités, sur $0^m.050$ de longueur, et surmontés, à l'autre extrémité, d'une tête plate carrée de $0^m.035$ de côté sur $0^m.013$ d'épaisseur, forgée avec le reste de la pièce. La longueur totale du boulon est de $0^m.190$.

Les rondelles sont également cylindriques; leur diamètre est de $0^m.040$ et leur épaisseur de $0^m.0025$. Le diamètre des trous dont elles sont percées est de $0^m.020$.

Les écrous sont des prismes à bases rectangulaires de $0^m.037$ sur $0^m.037$; leur épaisseur est de $0^m.018$. Les angles de la face s'appliquant contre la rondelle sont rabattus en chanfrein.

Les crapauds ont $0^m.065$ de longueur, $0^m.054$ de largeur et $0^m.020$ d'épaisseur moyenne ; ils sont percés, au milieu, d'un trou circulaire de $0^m.020$ de diamètre, pour le passage du boulon. Leur face inférieure est évidée par deux concavités successives, l'une ayant $0^m.047$ de corde et $0^m.007$ de flèche, a pour but de faciliter le serrage et de donner plus de force à la pièce; l'autre, qui épouse l'extrémité du patin du rail, sert à maintenir ce rail sur la traverse, comme le ferait la tête d'un crampon.

La face supérieure des crapauds est surmontée d'un anneau se raccordant par un congé avec les arêtes de la pièce. L'une de ces arêtes, celle située au-dessus du patin du rail, est rabattue en chanfrein.

Les ferrures de serrage pèsent ensemble $1^k.100$, savoir :

	kilog.
Boulon.	0.465
Écrou.	0.155
Rondelle.	0.035
Crapaud.	0.445
Total égal.	1.100

Dans ce système de pose, le boulon pénètre, la tête en bas, à travers la membrure et le plateau préalablement perforés de chaque côté du rail. Le plateau est en outre entaillé à sa partie inférieure, au droit des trous des boulons, pour loger la tête de ceux-ci et les empêcher de céder à un mouvement circulaire lorsqu'on serre les écrous.

Le crapaud est passé à la tige du boulon et s'applique, d'une part, contre le patin du rail ; d'autre part, contre la membrure ou traverse, au moyen des deux nervures formées par les extrémités de la grande courbure concave.

La rondelle, passée à son tour, repose sur l'anneau déterminé par la partie supérieure du crapaud ; elle sert d'intermédiaire entre celui-ci et l'écrou pour la facilité du serrage.

Puis vient enfin l'écrou que l'on serre à fond.

Les rails sont fixés sur chacune des traverses intermédiaires par deux boulons à crapaud, l'un à l'intérieur de la voie, l'autre à l'extérieur ; et sur les traverses de joints, par quatre boulons dont deux à l'intérieur et deux à l'extérieur.

Le nombre des traverses par longueur de rail de 6 mètres étant de sept dont une de joint, le nombre des boulons à crapaud est de 32 pour 6 mètres de simple voie, ou de 10 666 par kilomètre de double voie.

La longueur totale des voies en rails Vignole sur traverses Pouillet, existant sur le réseau du Nord, est de 6 297 mètres de simple voie, dont 1 822 mètres sur la ligne de Boulogne, 978 mètres sur celle de Busigny à Somain, et 3 497 mètres sur l'ancienne ligne de Paris à Creil, entre les stations de Boran et de Saint-Leu, voie de droite.

Cette dernière partie, posée depuis plus de deux ans, a donné les meilleurs résultats, comme entretien. On ne peut reprocher à ce système de voie que le grand nombre de pièces diverses nécessaires à la fixation du rail sur la traverse.

Outre les deux systèmes de voies qui viennent d'être décrits, il existe, par exception, sur le réseau du Nord, des voies en rails à double champignon non symétrique, des parties de voies avec serre-rails Barberot, d'autres avec coussinets-éclisses.

Les premières résultent de l'acquisition qui a été faite, à la Compagnie des Ardennes, de la ligne de Creil à Beauvais; les secondes de consolidation apportée à d'anciennes voies.

Nous dirons quelques mots sur ces voies.

VOIE EN RAILS A DOUBLE CHAMPIGNON NON SYMÉTRIQUE.

La ligne de Creil à Beauvais, d'une longueur totale de 37 155 mètres, construite par la Compagnie des Ardennes et cédée à la Compagnie du Nord, par convention passée le 11 juin 1857, en échange de la section de Laon à Reims, a été établie en rails à double champignon non symétrique, non éclissés.

Ces rails ont 5 et 6 mètres de longueur, dans le rapport approximatif de 4 à 3 ; ils pèsent 35k.500 par mètre courant et reposent, par l'intermédiaire des coussinets en fonte, sur des traverses en chêne au nombre de six, dont quatre intermédiaires, pour les rails de 5m.00; et de sept, dont cinq intermédiaires, pour les rails de 6m.00.

Les écartements des traverses entre elles, d'axe en axe, sont les suivantes :

1° *Rails de 5 mètres.*

	mèt.
Deux portées de 0m.80 entre les traverses de joints et les traverses adjacentes, ci	1.60
Deux portées de 1m.13, ci	2.26
Une portée de 1m.14 au milieu du rail, ci	1.14
Longueur égale à celle du rail	5.00

2° *Rails de 6 mètres.*

	mèt.
Deux portées de 0m.80, comme ci-dessus	1.60
Quatre portées de 1m.10, ci	4.40
Longueur égale à celle du rail	6.00

Nous ne rechercherons pas quelles sont les considérations qui ont pu motiver le choix d'une forme de rails, qui offre tous les inconvénients reprochés aux rails à double champignon symétrique, qui présente moins de résistance et n'a pas, comme ces derniers, l'avantage de pouvoir se retourner sens dessus-dessous.

Nous nous bornerons à rappeler qu'à l'époque où cette voie a été posée par la Compagnie des Ardennes, la Compagnie du Nord était édifiée sur les diverses formes de rails ; que ses préférences étaient acquises au modèle Vignole, qui déjà était appliqué sur une grande échelle.

SERRE-RAILS BARBEROT.

Peu après la substitution, et lorsque la ligne de Saint-Quentin à Erquelines allait être livrée à la circulation, la Compagnie du Nord reconnut la nécessité de consolider les lignes de Creil à Saint-Quentin et du littoral, qui avaient été établies en rails de 5^{m}.00 et de 4^{m}.50 de longueur, pesant 37 kilogrammes par mètre, sans éclisses aux joints, et reposant sur cinq ou six traverses, dont trois ou quatre intermédiaires, selon la longueur des rails ; savoir : (*).

1° *Rails de 4^{m}.50.*

	met.
Deux portées de 1 mètre, entre les traverses de joints et les traverses adjacentes, ci.	2.00
Deux portées de 1^{m}.25, ci.	2.50
Longueur égale à celle du rail.	4.50

2° *Rails de 5 mètres.*

	met.
Deux portées de 0^{m}.85, entre les traverses de joints et les traverses adjacentes, ci.	1.70
Trois portées de 1^{m}.10, ci.	3.30
Longueur égale à celle du rail.	5.00

(*) On rencontre aussi, sur la ligne de Creil à Saint-Quentin, des parties de voies en rails de 3^{m}.375 de longueur ; mais cette pose étant tout exceptionnelle et de peu d'étendue, il suffira de la mentionner ici.

Cette consolidation fut effectuée de manière à tirer de ces anciennes voies le parti le plus avantageux, en les assimilant autant que possible aux autres parties des lignes dont elles dépendaient ; les rails furent éclissés en porte à faux et une nouvelle traverse fut ajoutée par longueur de rail.

On put ainsi réduire à 0m.975 et 0m.88 (Pl. 178, *fig.* 5) les portées exagérées de 1m.25 et 1m.10. Afin d'éviter une commande importante de coussinets qui, plus tard, seraient devenus sans emploi, le modèle des anciens rails de 37 kilogrammes ayant été abandonné, la Compagnie appliqua le serre-rails Barberot, dont une première expérimentation peu importante faite en 1852-1853, entre les stations de Boran et de Précy, avait donné des résultats très-satisfaisants.

Sur chacune des lignes de Creil à Saint-Quentin et du littoral, on retirait d'une partie de voie toutes les traverses sabotées que l'on repartissait sur d'autres points où l'ancienne pose était maintenue et où elles étaient utilisées en augmentation des supports existants. — La lacune qui résultait de cet enlèvement était comblée par des traverses à coins Barberot.

On a employé ainsi 95 819 traverses du système Barberot, dont 62 965 entre Creil et Saint-Quentin, et 32 854 entre Lille et Dunkerque, correspondant à une longueur totale de 86 325 mètres de simple voie, dont 56 725 mètres sur la première ligne, et 29 600 sur la seconde (*).

On sait que le serre-rails Barberot remplace à la fois le coussinet et le coin. Posé de chaque côté du rail en forme d'étai (Pl. 178, *fig.* 6), il est fixé sur la traverse préalable-

(*) Pour avoir la longueur totale de la voie Barberot existant sur le réseau, il faudrait ajouter les 4 614 traverses posées en 1852-1853 entre Boran et Précy, correspondant à 4 156 mètres de simple voie.

ment entaillée (Pl. 178, *fig.* 7), par un tire-fond (Pl. 178, *fig.* 8) de $0^m.204$ de longueur totale y compris la tête, taraudée sur $0^m.122$. Une ferrure ou bride (Pl. 178, *fig.* 9), dans laquelle passe le tire-fond, assure la rigidité du coin (Pl. 178, *fig.* 10 et 11) dans toutes ses parties, et le préserve des dégradations auxquelles il pourrait être exposé par l'action du serrage.

La pose Barberot, malgré les vives critiques dont elle a été l'objet de la part de plusieurs ingénieurs, présente des avantages incontestables sur la pose ordinaire avec coussinets, et elle eût été peut-être un jour exclusivement admise sur les lignes du Nord, si le rail à base plate ou Vignole n'était venu lui-même détrôner le rail à double champignon.

Le serre-rails Barberot pourrait être avantageusement appliqué dans la voie Vignole, si cette voie manifestait plus tard, en certaines parties et notamment dans les courbes, la tendance au déversement que lui reprochaient ses adversaires. Les serre-rails ne seraient adaptés qu'aux traverses intermédiaires, les joints restant éclissés et supportés par une traverse.

COUSSINETS-ÉCLISSES.

Au moment où la consolidation dont il vient d'être parlé avait lieu, des travaux analogues étaient entrepris sur la ligne d'Amiens à Boulogne, établie en rails à double champignon symétrique, pesant 30 kilog. par mètre courant.

Ces rails étant encore dans un état passable, la compagnie voulut prolonger leur service en augmentant le nombre de leurs appuis ; et, pour éviter les porte-à-faux qui, avec des rails déjà fatigués, auraient présenté de sérieux inconvénients, elle employa, pour les joints, des coussinets d'une forme spéciale, à une seule joue ou éventail formant éclisse à l'intérieur de la voie.

Dans cette pose (Pl. 178, *fig.* 12 et 13), chaque rail de $4^m.50$ est supporté par deux traverses de joints, et cinq traverses

intermédiaires, divisant sa longueur en six portées, savoir :

	mèt.
Deux portées de 0m.60, entre les joints et les traverses adjacentes, ensemble.	1.20
Quatre portées de 0m.825, entre les appuis intermédiaires, d'axe en axe, ensemble.	3.30
Longueur égale à celle du rail.	4.50

Les coussinets de joint (Pl. 178, *fig.* 14 et 15) sont fixés sur les traverses par trois chevillettes dont deux du côté de l'éventail, et une à l'extérieur de la voie, du côté où se pose l'éclisse.

Les premières éclisses qui furent employées dans cette consolidation étaient en fonte comme les coussinets : elles ne résistèrent pas longtemps ; de nombreuses ruptures eurent lieu, et on dut les remplacer par des éclisses en fer semblables à celles en usage sur les autres parties du réseau.

Ce système n'a pas paru offrir de bien grands avantages sur l'ancienne pose à joints retenus par des coins ; d'un autre côté, il est certain qu'il est de beaucoup inférieur à la pose ordinaire avec éclisses.

On peut particulièrement reprocher à l'éventail du coussinet un défaut de longueur. Le serrage n'a réellement lieu que par les deux boulons du milieu, qui prennent l'éclisse, le rail et le coussinet ; de sorte qu'il se produit encore de petits ballottements qui indiquent que la solution de continuité n'a pas complétement disparu.

La pose avec coussinets-éclisses a été effectuée sur 22 kilomètres de simple voie, dont 14 kilomètres entre Amiens et Ailly-sur-Somme, 4 kilomètres entre Pont-Remy et Abbeville, et 4 kilomètres entre Abbeville et Noyelles. Cette dernière partie, ainsi que plusieurs kilomètres aux abords d'Ailly-sur-Somme, ont été depuis remplacés par les rails Vignole, et les matériaux retirés ont été employés en partie sur la ligne de Noyelles à Saint-Valery.

Ce qui reste de coussinets-éclisses sur la ligne de Bou-

logne disparaîtra au fur et à mesure de l'avancement des travaux de substitution, qui sont maintenant en cours d'exécution.

CHANGEMENTS A DEUX VOIES.

Dispositions des anciens changements. — Les changements de voie en rails de 30 kilogrammes de la ligne de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, se composaient de deux rails contre-aiguilles de $4^m.80$ de longueur et de deux aiguilles, l'une de $4^m.71$, l'autre de $3^m.15$; ils se désignaient sous les dénominations de changements à droite et de changements à gauche.

Pour se rendre compte de ces dénominations, il suffit de se placer, par la pensée, à l'extrémité du châssis de l'aiguillage, en regardant vers le croisement; et l'on aura, pour le changement à droite, la grande aiguille placée à gauche et la petite à droite. Réciproquement, pour le changement à gauche, on aura la grande aiguille à droite et la petite à gauche.

Inconvénients de ces changements. — Ces appareils avaient l'inconvénient de ne pouvoir être employés indifféremment pour aller à droite ou à gauche, et de donner, entre l'extrémité de la petite aiguille rabattue et le rail contre-aiguille opposé, une largeur de voie de $1^m.465$, soit deux centimètres de plus que la largeur normale de la voie mesurée à l'intérieur des rails.

D'un autre côté, l'écartement de la voie, pris entre l'extrémité de la grande aiguille et le rail contre-aiguille opposé, n'était que de $1^m.440$.

Les anciens changements nécessitaient enfin l'emploi d'un contre-rail précédant la petite aiguille; il avait pour objet de ramener les roues des véhicules aussi près que possible de l'axe du rail contre-petite aiguille, point où l'écartement de la voie est le plus grand, et d'assurer par suite la portée des bandages de ces roues.

Les mêmes inconvénients se retrouvent dans les change-

ments en rails de 37 kilogrammes des lignes du littoral et de Creil à Saint-Quentin, autrement dits *ancien modèle ;* à cette différence près que, dans ces appareils, les aiguilles ont l'une 5^{m}.00 de longueur, et l'autre 3^{m}.60. La longueur des rails contre-aiguille est de 5^{m}.08.

Lors de la substitution, tous les anciens appareils en 30 kilogrammes furent remplacés par un nouveau modèle étudié par la compagnie du Nord.

Avantages des changements en rails de 37 kilogrammes, nouveau modèle, sur les changements anciens. — Les nouveaux changements se composent de deux rails contre-aiguilles de 4^{m}.20 de longueur, et de deux aiguilles égales de 5 mètres, parfaitement symétriques comme rabotage et comme position sur le châssis..

Ces dispositions ont l'avantage de donner toujours le même écartement normal de la voie (1^{m}.445), les aiguilles conservant un parallélisme à peu près parfait ; de pouvoir employer indifféremment les appareils soit pour aller à droite, soit pour aller à gauche, et de simplifier, par suite, la confection et les approvisionnements dans les chantiers ; elles rendent enfin inutile l'emploi du contre-rail placé en avant de la petite aiguille dont il a été question plus haut.

Dans les anciens changements, le champignon supérieur du rail contre-aiguille était raboté sur toute la longueur suivant laquelle ce rail était en contact avec l'aiguille. Ce rabotage, qui commençait à zéro et avait au point où entrait l'extrémité de l'aiguille, une profondeur de 0^{m}.010 à 0^{m}.012, contribuait puissamment à la prompte détérioration des rails.

Dans les appareils en rails de 37 kilogrammes, anciens et nouveaux modèles, l'encoche dans laquelle se loge la pointe de l'aiguille est obtenue par le contre-coudage du rail contre-aiguille. Cette disposition est incontestablement préfé-

rable au rabotage primitif; mais une amélioration plus radicale a été apportée lors de l'établissement des nouvelles lignes en rail Vignole.

Changements de voie en rails Vignole. — Rabotage des aiguilles (système Wild). — L'emploi de cette forme de rails a déterminé la compagnie à adopter, pour les changements de voie, le système Wild, qui consiste dans le rabotage de l'aiguille, au moyen duquel celle-ci peut se loger sous le champignon de son rail contre-aiguille, tout en conservant à la partie supérieure de sa pointe une épaisseur de 12 millimètres.

Ce rabotage de forme concave, qui épouse parfaitement la gorge du contre-aiguille, règne sur une longueur de $2^{m}.786$. Le patin du contre-aiguille est lui-même entaillé, dans le même but, sur une longueur égale. Cette entaille commence à zéro et va en s'élargissant jusqu'au droit de l'extrémité mince de l'aiguille, où elle atteint une profondeur de $0^{m}.028$.

Par ce système de rabotage, on n'a plus à redouter l'écrasement de l'aiguille dans le sens de son épaisseur, par la pression verticale des boudins des roues à sa partie faible, cette aiguille se trouvant cachée sous le champignon du contre-aiguille qui la protége.

Ce premier résultat obtenu, il restait à protéger l'aiguille contre la même pression, dans toute la portion où sa section se trouve très-réduite par le rabotage. A cet effet, on a raboté sa partie supérieure sur une longueur de $1^{m}.50$, de manière à ce que l'extrémité fine soit en contre-bas de $0^{m}.030$ environ du niveau supérieur du contre-aiguille.

On conçoit que, dans cette disposition, l'aiguille ne puisse servir au roulement qu'à partir de $1^{m}.50$ de sa pointe, distance à laquelle elle présente une section et une largeur suffisantes pour résister à la pression des roues des machines et des wagons.

Ce procédé a permis de supprimer le contre-coudage des rails contre-aiguilles.

Glissement des aiguilles Vignole. — Inconvénients qui en résultent. — On a remarqué, dans les changements de voies en rails Vignole, que l'aiguille qui, en service régulier, n'est pas rabattue sur son contre-aiguille, cédait à un mouvement de glissement dans le sens de la marche des trains. Ce fait d'une aiguille avançant sans que les trains la parcourent, paraît tout d'abord assez singulier ; il s'explique néanmoins par la solidarité qui existe dans le croisement Vignole entre la pointe en fer forgé et les pattes de lièvre. Or, ce croisement sollicité par les longueurs de voies qui le précèdent et qui marchent généralement d'une manière assez sensible, doit donner à l'aiguille sur laquelle on ne passe pas et qui ne rencontre aucun obstacle, un déplacement suffisant pour l'empêcher, lorsqu'on veut la rabattre sur son contre-aiguille, de pénétrer dans l'entaille faite au patin.

Le jeu qui règne alors entre la pointe de l'aiguille et le rail contre-aiguille, est assez grand pour rendre un déraillement à peu près inévitable.

Moyens employés pour arrêter le glissement des aiguilles Vignole. — Afin d'obvier à l'inconvénient dont il vient d'être parlé, une goupille ou goujon de $0^{m}.020$ de diamètre est rivé à la partie inférieure de l'aiguille, de manière à ce qu'il bute contre la semelle d'un coussinet de glissement. Ce coussinet, étant lui-même solidement fixé à la charpente au moyen de boulons, s'oppose parfaitement au déplacement de l'aiguille dans le sens longitudinal.

On pratique en outre, dans le patin des rails de raccord qui font suite aux aiguilles et avec lesquelles ils sont reliés au moyen d'éclisses d'articulation, une encoche qui a la forme et la section d'un crampon, et qui correspond à la traverse extrême du châssis. Aussitôt après avoir posé les rails de raccord, on enfonce tout simplement le crampon.

Éclissage des aiguilles. — Modification des coussinets spéciaux, par suite de cet éclissage. — Une dernière amélioration a été apportée aux changements de voie. L'éclissage des rails de la voie courante a conduit à éclisser également les aiguilles avec les rails qui leur font suite.

Avant la substitution, le rail contre-aiguille et le talon de l'aiguille étaient logés dans un coussinet spécial à double cage. Les assemblages de ces pièces laissaient beaucoup à désirer, quelque soin qu'on apportât à les rendre solides.

L'éclissage des aiguilles a permis de remplacer les coussinets de talon par des coussinets ordinaires de glissement, armés seulement d'un boulon de cale contre lequel vient s'appuyer l'aiguille ; il procure en outre aux mouvements des aiguilles une certaine élasticité au lieu du ferraillement et de la dislocation qu'amenaient, au bout de quelque temps, les boulons qui, précédemment, maintenaient les talons dans les coussinets spéciaux.

Cette modification a donné les meilleurs résultats.

CHANGEMENTS A TROIS VOIES.

Les anciens appareils péchaient surtout dans les écartements obtenus par le rabattement des deux petites aiguilles sur leurs contre-aiguilles, pour aller sur la voie du milieu ou voie droite. Ainsi, l'écartement de la voie, à l'extrémité de ces petites aiguilles, atteignait 1m.480. D'un autre côté, l'écartement entre un contre-aiguille et une grande aiguille opposée n'était que de 1m.435.

Lors de l'étude des changements à trois voies en rails de 37 kilogrammes à double champignon, nouveau modèle, destinés à remplacer les mêmes appareils en rails de 30 kilogrammes et de 37 kilogammres, ancien modèle, on a modifié le tracé de façon à rendre égaux à l'écartement normal de la voie les écartements des aiguilles entre elles ou avec les contre-aiguilles avec lesquelles elles doivent former la voie.

Les changements à trois voies en rails Vignole ont du

reste été l'objet des mêmes améliorations apportées aux changements à deux voies.

CROISEMENTS DE VOIES.

Les anciens châssis de croisements se composaient de traverses analogues à celles de la voie courante, reliées par des longuerines en saillie.

Cette disposition rendait le bourrage fort difficile ; elle avait en outre l'inconvénient d'exposer les longuerines aux influences atmosphériques et parfois aux dégradations produites par les débris de coke incandescent qui s'échappent des machines.

On est revenu à une disposition anciennement adoptée sur la ligne de Calais, en plaçant les longuerines en dessous des traverses, et on a employé soit des bois épais, soit des bois minces. Ces changements, quoique peu importants, ont donné de bons résultats.

Une amélioration beaucoup plus sérieuse a été apportée aux pointes de croisements, qui, par suite des chocs réitérés ou plutôt du martelage qu'elles éprouvent lors du passage des trains, sont sujettes à de rapides détériorations.

Auparavant, les pointes de croisement étaient obtenues par l'assemblage de deux rails, avec une mise d'acier sur la partie forgée. Cette solidarité nécessitait l'enlèvement de toute une partie de voie, lorsque la pointe, seule détériorée, était à remplacer.

Afin d'éviter cet inconvénient et de prolonger la durée des croisements, la Compagnie emploie maintenant des pointes en fer forgé cémenté et trempé sur toute la surface du roulement (note n° 10), qui sont indépendantes des rails adjacents ou de raccord auxquels elles sont reliées au moyen d'éclisses ordinaires. Ces mêmes rails, ainsi que les contre rails et les pattes de lièvre, sont, comme

on le verra plus loin, soit en acier puddlé, soit en acier fondu.

TRAVERSÉES DE VOIES EN RAILS VIGNOLE.

La substitution en rails Vignole a nécessité une modification de détail dans les traversées de voies, où des contre-rails formant saillie sur le plan de la voie sont indispensables pour empêcher les déraillements au point de coupement.

La difficulté de raccorder le rail Vignole pour obtenir la saillie indispensable à la butée des roues, et la forme toute particulière qu'il eût fallu donner aux coussinets, ont engagé la Compagnie à étudier une disposition de contre-rails en bois formant châssis et fortement attachés à un plancher général (Pl. 179).

Les contre-rails (Pl. 179, *fig.* 10 et 11) sont munis intérieurement d'une plaque en fer forgé de 2 centimètres d'épaisseur, de manière à présenter une résistance complète aux chocs des roues, lors du passage des trains.

Les contre-rails Vignole ne coûtent pas plus cher que ceux en usage dans les voies en rails à double champignon; on conçoit en effet que l'augmentation de bois et le faible surcroît de main-d'œuvre qui résultent, dans le premier cas, de la confection du châssis, ne peuvent constituer une dépense plus élevée que celle qui résulte, dans le second cas, de l'emploi des deux rails coudés et des coussinets destinés à les maintenir.

PLAQUES TOURNANTES.

1° *Plaques de 4m.20 et de 3m.40 de diamètre.*

Changements apportés dans la construction de ces plaques. — D'importantes améliorations ont été apportées, depuis environ cinq ans, dans la construction des plaques tournantes de 4m.20 et de 3m.40 de diamètre; elles peuvent se résumer de la manière suivante :

1° Modification des formes de la section transversale de l'anneau du plateau supérieur, en vue d'une augmentation de solidité ;

2° Modification de la forme des bras ou nervures qui relient l'anneau au centre et qui servent à l'appui des rails. Précédemment, ces bras ou nervures avaient la forme d'un T droit d'assez faibles dimensions ; tandis qu'actuellement ils ont la forme plus rationnelle d'un double ⌶, avec des dimensions plus fortes ;

3° Dans les anciennes plaques, les rails en équerres étaient faits avec du fer rectangulaire de $0^m.065$ sur $0^m.45$; ils reposaient directement sur la plate-bande de la nervure à T, et étaient attachés au moyen de boulons qui passaient dans les trous de renflement venus de fonte ;

Dans les nouvelles plaques, les rails en équerres sont faits avec des rails Brunel pleins, dont le patin a $0^m.165$ de largeur ; on interpose entre eux et la fonte un semellage en bois de chêne de $0^m.050$ d'épaisseur, dont le sens des fibres est dirigé de manière à former avec l'axe des rails un angle de 45°, ce qui donne une plus grande résistance à l'écrasement. L'élasticité du bois amortit les chocs qui se produisent lors du passage des trains et évite les ruptures des différentes parties du plateau ;

4° Le cercle de roulement a été disposé de manière à présenter à sa partie inférieure, dans toutes les parties qui le composent, c'est-à-dire le centre, les rayons et l'anneau, une surface plane et suffisamment large pour constituer un bon appui et faciliter le bourrage ; tandis que, primitivement, la section de ce cercle était un simple T et celle des bras une +, ayant l'une et l'autre pour base la section de l'âme seulement ;

5° Anciennement, les plaques tournantes de $3^m.40$ et $4^m.20$ étaient coulées d'une seule pièce, ou se composaient de deux parties qu'on assemblait ensuite. Les premières étaient sujettes aux ruptures par suite du retrait de la

fonte, qui n'avait pu s'opérer également pour toutes les parties composant le plateau ; les dernières présentaient le même inconvénient par suite d'ébranlements dans les assemblages qui n'étaient pas faits avec assez de solidité.

Actuellement les plateaux supérieurs et inférieurs des plaques de 4^{m}.20 sont fondus en deux parties qui sont ensuite assemblées, de chaque côté du pivot, dans le sens diamétral et sur le pourtour de l'anneau, au moyen de fourrures et éclisses en fer plat avec boulons à écrous et contre-écrous.

Les plateaux supérieurs et inférieurs des plaques de 3^{m}.40 sont faits d'un seul morceau ; mais au moulage du plateau supérieur on prend des mesures pour qu'après la coulée ce plateau se trouve être divisé en quatre parties égales sur le pourtour de l'anneau seulement.

On met à cet effet, dans le moule des morceaux de tôle mince qui produisent ces séparations. La contraction qui a lieu, lors du refroidissement, peut alors s'opérer sans danger pour la solidité de l'anneau.

Cette mesure a été prise pour la fabrication des plaques de 3^{m}.40, parce qu'on a reconnu que les ruptures d'anneaux provenaient généralement des efforts produits par une contraction irrégulière sur toute leur étendue.

Lorsqu'on retire du sable les pièces fondues, on remplit très-exactement, avec des morceaux de tôle, les séparations qui résultent de ces coupures, et on consolide ces solutions de continuité à l'aide de deux éclisses en fer plat qui affectent rigoureusement les formes de la fonte.

Prix d'une plaque en fonte de 4^{m}.20 diamètre. — Une plaque tournante de 4^{m}.20, livrée par le fournisseur, pèse environ 8 135 kilogrammes, savoir :

	kilog.
Plateau supérieur	3 210
Plateau inférieur	2 170
Cuve	1 763
Galets	313
Tringles	110
Boulons et ferrures diverses	569
Total	8 135

qui, à raison de 0f.37 le kil. (prix actuel), coûtent. 3 009.58 fr.

La compagnie se charge ensuite de faire poser, dans ses chantiers, le semellage en bois et les rails Brunel.

Cette dépense se divise ainsi :

		fr.	
Semellage et panneaux de recouvrements	Prix du bois	198.60	
	Façon	52.00	
Garniture des rails	Prix du fer	242.20	
	Façon, coupe, ajustage et pose	33.00	
	Total	525.80	525.80
Prix total d'une plaque de 4m.20			3 535.38

Prix d'une plaque en fonte de 3m.40 de diamètre.

Une plaque tournante de 3m.40, livrée par le fournisseur, pèse environ 5 125 kilogrammes, savoir :

	kilog.
Plateau supérieur	2 089
Plateau inférieur	1 255
Cuve	923
Galets	283
Tringles	92
Boulons et ferrures diverses	483
Total	5 125

à raison de 0f.37 le kilogramme (prix actuel), ci. . . 1 896.25 fr.

La compagnie se charge également de la pose du semellage en bois et des rails Brunel.

Cette dépense se divise ainsi :

		fr.	
Semellage et panneaux de recouvrements	Fourniture du bois	183.25	
	Façon	38.50	
Garniture des rails	Prix du fer	172.35	
	Façon, coupe, ajustage et pose	31.50	
	Total	425.60	425.60
Prix total d'une plaque de 3m.40			2 321.85

La pose d'une plaque de 4^{m}.20 coûte 70 francs, et celle d'une plaque de 3^{m}.40, 55 francs. Ces prix comprennent la fouille, la fondation en sable ou en scories, et les raccordements des voies avec celles de la plaque; tous les matériaux étant du reste rendus à pied-d'œuvre.

L'établissement des plaques tournantes dont il vient d'être question n'exige pas de maçonneries; les plateaux inférieurs reposent directement sur un sol préparé de manière à rendre l'infiltration des eaux aussi prompte que possible.

Plateaux en tôle de 4^{m}.20 de diamètre. — La compagnie du Nord a expérimenté, il y a quelques années, un système de plaques avec plateau supérieur en tôle; les autres parties étant exactement les mêmes que celles des plaques ordinaires de 4^{m}.20.

Ce plateau se compose de quatre longerons ou fers à double T, placés parallèlement et perpendiculairement deux à deux, avec un écartement de 1^{m}.50 d'axe en axe, largeur de la voie.

Deux de ces longerons formant l'une des deux voies, sont d'une seule pièce; les autres sont composés chacun de trois morceaux. Ces longerons et portions de longerons sont assemblés ou réunis entre eux à leur partie supérieure et inférieure au moyen de feuilles de tôle solidement rivées aux ailes de ces fers.

Les arêtes de ces feuilles de tôle sont mises parfaitement en contact sur toute leur longueur, pour qu'elles puissent travailler à l'extension ou à la compression en même temps que les longerons.

A la partie inférieure est rivé le cercle de roulement, qui n'est autre chose qu'une bande de fer plat de 0^{m}.100 de largeur, sur 0^{m}.030 d'épaisseur, avec laquelle on a formé un cercle parfait.

Enfin, à la partie supérieure du plateau et à l'aplomb des longerons, sont rivées des plates-bandes en fer de

0^{m}.160 de largeur et de 0^{m}.010 d'épaisseur, sur lesquelles les rails sont fixés à l'aide de forts rivets.

Les fers à ⊥ employés dans les plateaux en tôle ont 0^{m}.140 de hauteur totale et 0^{m}.008 d'épaisseur; les ailes ont une largeur de 0^{m}.080.

Les plaques tournantes de 4^{m}.20 de diamètre, avec plateau en fer et tôle, coûtent la somme de 3 892 francs 20 centimes, qui se décompose de la manière suivante :

			fr.
Plateau supérieur pesant, avec les rails, 2 860 kilog., ci			2 095.48
Plateau inférieur.	2 170	kilogrammes (fonte).	
Cuve.	1 763		
Galets.	313		
Tringles.	110		
Boulons et ferrures.	500		
Total. . . .	4 856	kilogrammes à 0^{f}.37	1 796.72
		Prix total.	3 892.20

Soixante et un plateaux en tôle ont été commandés par la compagnie du Nord; sur ce nombre, douze ont été cédés à la compagnie du Midi. Les plaques de ce genre qui sont encore en service sont réparties dans les gares de Paris, Amiens, Montreuil, Boulogne, Fives, Hazebrouck, Saint-Omer, Valenciennes, et dans quelques-unes des petites stations de la ligne de Saint-Quentin à Erquelines.

Dans l'expérimentation, on a constaté que les plateaux en tôle n'étaient pas suffisamment rigides, et qu'ils fléchissaient sous le passage des trains; que les rivets se desserraient peu à peu, et que, par suite, les tôles ne travaillaient plus; que les longerons réduits à leur propre force finissaient par se désagréger et se casser aux points d'intersection; que les plateaux prenaient alors, sous le passage des machines, des flèches inquiétantes de 5 à 8 centimètres, et qu'il fallait enfin les enlever pour éclisser ces ruptures et rendre aux longerons, non-seulement leur solidité primitive, mais encore renforcer les points où le travail est le plus grand.

Ces consolidations, qui nécessitaient l'enlèvement de presque tous les rivets du plateau, constituaient une opération à la fois longue et dispendieuse.

Il est certain que ces inconvénients disparaîtraient, en grande partie du moins, en augmentant très-sensiblement les dimensions des longerons. Dans l'hypothèse de dimensions doubles de celles actuelles, il y aurait à ajouter approximativement 500 kilogrammes au poids du plateau; soit une dépense de. . . . . fr. 366.00

Il faudrait, par suite, augmenter un peu la hauteur de la cuve; soit pour 200 kilogrammes de fonte environ. 74.00

Si l'on admet enfin un semellage en bois, comme dans les plaques ordinaires, il y aurait encore à ajouter environ. 250.00

Ensemble. . . . 690.00

La plaque, telle qu'elle est maintenant, coûte 3 892.20

Une plaque en tôle bien solide coûterait donc 4 582.20

Soit 1 046 francs 82 centimes plus cher qu'une plaque en fonte. Cette augmentation est considérable; mais les plateaux en tôle ainsi modifiés présenteraient certains avantages incontestables sur les plateaux en fonte, dont le défaut d'élasticité amène parfois des ruptures qui nécessitent des réparations toujours difficiles et par suite très-coûteuses.

Il serait donc à désirer que les plaques en tôle fussent de nouveau expérimentés, mais en admettant des longerons de dimensions doubles de celles actuelles.

2° *Plaques de grands diamètres pour machines et tenders.*

Description des anciennes plaques de 10m.50. — Les plaques de 10m.50, pour tourner les machines avec leur tender, ont été établies, lors de la construction de la ligne de Paris en Belgique, dans les dépôts principaux de la Chapelle, Pontoise, Creil, Amiens, Douai et Valenciennes.

Ces plaques, construites et fournies par l'usine de Graffenstaden, près Strasbourg, sont complétement en fonte; elles se composent d'un fort croisillon central portant à son axe un fort pivot, auquel il est relié par quatre boulons de suspension qui permettent de régler sa position.

Le pivot repose, par sa partie inférieure, terminée par une pièce en acier, sur une crapaudine en acier trempé prise dans un boisseau en fonte. Ce boisseau est lui-même fixé par quatre vis à la plaque de fondation, de manière à rendre le centre de la plaque invariable.

A chacun des quatre angles du croisillon sont venues de fonte trois oreilles dont deux, celles formant entre elles un angle droit, servent à attacher les longerons principaux, et l'autre, celle qui divise en deux parties égales l'espace compris entre les deux premières, sert à attacher un longeron intermédiaire.

Les longerons principaux sont, par suite, au nombre de huit, et les longerons intermédiaires au nombre de quatre. Ces douze longerons, reliés aux oreilles au moyen de forts boulons, sont réunis entre eux, vers leur extrémité, par des segments et des entretoises circulaires formant ensemble deux circonférences régulières, l'une de $3^{m}.55$ de rayon et l'autre de $5^{m}.15$.

Entre l'un des longerons intermédiaires et un autre petit longeron limité à la rencontre de deux segments circulaires, un grand et un petit, se trouve placé le treuil qui sert à manœuvrer la plaque. Ce treuil est composé d'un système d'engrenage dont l'une des roues, s'engageant dans la crémaillère circulaire qui borde la cuve, produit le mouvement de rotation lorsque deux ou trois hommes agissent sur les manivelles de commande.

Le plateau ainsi constitué est supporté à son centre par le pivot central, et sur douze points de sa circonférence, aux extrémités des longerons, tant principaux qu'intermédiaires, par douze galets en fonte de $0^{m}.900$ de diamètre.

Le poids du plateau est reporté sur les galets par l'intermédiaire de supports placés sous les longerons principaux, et venus de fonte avec les longerons intermédiaires. Ces supports reposent sur les tourillons des essieux des galets.

Les essieux des galets ont 1^{m}.60 de longueur.

Les galets roulent sur un cercle en fonte d'un diamètre moyen de 9^{m},820. Ce cercle de roulement se compose de segments d'une forte section fixés au moyen de boulons de scellement sur une fondation en pierre de taille dure.

	fr.
Le prix d'une de ces plaques est de. .	16 100
Le prix des fondations est d'environ. .	5 000
Total d'une plaque posée. . . .	21 100

Améliorations apportées par la compagnie aux plaques de 10^{m}.30. — Les modifications qui ont été apportées aux plaques de 10^{m}.30 sont les suivantes :

1° Les longerons principaux en fonte qui nécessitaient de fréquentes réparations pour cause de ruptures, ont été remplacés par des longerons en tôle avec cornières ;

2° Le diamètre de la plaque, qui ne permettait pas de tourner toutes les locomotives munies de leur tender, a été porté à 11^{m}.10. Il a suffi d'augmenter de 0^{m}.40 la longueur des nouveaux longerons, et d'abaisser d'autant la crémaillère et une partie des roues du système d'engrenage ;

3° Les galets pleins en fonte qui étaient sujets à de rapides détériorations ont été cerclés avec des bandages en fer à grain fin, cémenté et trempé, de 0^{m}.040 d'épaisseur. Leur diamètre a été d'abord réduit, à cet effet, de 0^{m}.080, pour être ramené, après le cerclage, à 0^{m}.900, comme précédemment.

Trois de ces plaques, situées à la Chapelle, Creil et Amiens, ont ainsi été modifiées depuis deux ans et demi ; elles n'ont encore donné lieu à aucune réclamation. La quatrième, celle de Douai, est actuellement en transformation dans les chantiers de La Chapelle ; de sorte que,

prochainement, il ne restera plus à modifier que la plaque de Pontoise et celle de Valenciennes.

Description des plaques de 12 mètres. — Les plaques tournantes de 12 mètres de diamètre ont été construites il y a environ trois ans ; elles se composent :

1° De quatre poutres principales en tôle de 0m.64 de hauteur, placées perpendiculairement deux à deux et espacées entre elles de 1m.50 d'axe en axe (largeur de la voie). Deux de ces poutres sont d'une seule pièce ; les deux autres, interrompues aux points d'intersection avec les premières, sont formées chacune de trois parties qui s'assemblent avec les poutres non interrompues, à l'aide de fortes équerres ;

2° D'une plaque tournante centrale de 3m.40 de diamètre, en tout semblable aux plaques de même dimension employées dans les gares pour tourner les wagons, sauf une addition de nervures verticales venues de fonte au plateau supérieur et contre lesquelles les poutres principales viennent s'appliquer et se relier au moyen de boulons et rivets ;

3° D'espèces de chevalets, au nombre de quatre, qui par leur construction spéciale reçoivent les axes des galets et les galets principaux, et servent en outre à l'appui des poutres principales ;

4° De deux treuils formant chacun un système d'engrenages combinés de manière à obtenir des vitesses variables dans le mouvement de la plaque. Ces treuils sont placés sur le pourtour du plateau et diamétralement opposés ; l'une des roues de chacun d'eux engrène avec la crémaillère circulaire qui borde l'arête supérieure de la cuve et sert à donner le mouvement de rotation lorsque des hommes agissent sur les manivelles des treuils ;

5° De douze galets en fonte, dont huit principaux et quatre intermédiaires ;

6° D'un cercle de roulement aussi en fonte, d'un rayon moyen de $5^{m}.600$.

Les galets reposent sur le cercle de roulement formé par 22 segments égaux et fixés, au moyen de boulons de scellement, sur une fondation en pierre de taille dure;

7° Enfin, d'un système de charpente en bois de chêne, destiné à maintenir les poutres dans leur position normale en les rendant solidaires les unes des autres; à soutenir le plancher; à attacher les supports en fonte des galets intermédiaires; enfin à supporter les treuils de mise en mouvement.

Une plaque tournante de 12 mètres de diamètre coûte la somme de $29,475^{f}.77$, qui se décompose de la manière suivante :

	kil.	fr.	fr.
Plateau (fer, fonte et bronze)	12 451	à 0.75	9 338.25
Charpente du plateau ($2^{m}.82$ cubes à 130 fr. le m. cube).			366.60
Treuils ou appareils de mise en mouvement	1 076	à 0.75	807.00
Galets principaux et leurs axes, au nombre de 8	2 154	à 0.75	1 615.50
Galets intermédiaires et leurs axes, au nombre de 4	457	à 0.75	342.75
Supports divers	488	à 0.75	366.00
Crémaillère en 20 segments	3 223	à 0.75	2 417.25
Cercle de roulement en 22 segments	3 992	à 0.75	2 994.00
Boulons divers pour scellements	210	à 0.75	157.50
Plaque centrale de $3^{m}.40$, en fonte	4 638	à 0.75	3 478.50
Rails fournis par la compagnie	1 920		592.42
Plancher du plateau —	3 570		500.00
Maçonneries des fondations et de la cuve			6 500 00
Totaux	34 179		29 475.77

NOTA. — La pose et le montage de la plaque sont compris dans le prix moyen de $0^{f},75$ le kil. de matière.

Modifications apportées par la compagnie aux plaques de 12 mètres. — Après un service de quinze à dix-huit mois, les plaques tournantes de 12 mètres placées au dépôt de Tergnier accusaient des détériorations assez fortes : les galets principaux étaient brisés sur les deux tiers environ de la circonférence de leur jante; les plaques centrales étaient elles-mêmes cassées sur plusieurs points du pourtour de l'anneau, leurs bras avaient quelques rup-

tures, et les surfaces de roulement étaient égrenées ou fendillées.

Le remplacement pur et simple des pièces avariées, par des pièces neuves, eût certainement remis les plaques en bon état, mais pour un laps de temps assez court, c'est-à-dire sensiblement égal au premier. La compagnie a pensé que le système en lui-même laissait à désirer et elle l'a modifié de la manière suivante :

1° Suppression de la plaque centrale de 3^{m}.40 et remplacement de ladite plaque par un fort croisillon en fonte avec pivot d'un grand diamètre ;

2° Remplacement des galets en fonte par des galets en fer entourés d'un cercle en fer à grain fin, cémenté et trempé ;

3° Remplacement des axes des galets, qui n'avaient que 0^{m}.450 de longueur, par d'autres axes ayant 2^{m}.035 ;

4° Modification des plaques de garde intérieures des chevalets, de manière à faciliter le remplacement d'un galet sans être obligé d'élever tout le plateau supérieur à une hauteur de 0^{m}.80 à 0^{m}85.

Le croisillon en fonte qui remplace la plaque centrale de de 3^{m}.40 se compose d'un fort boisseau circulaire d'environ 0^{m}.60 de diamètre, réduit légèrement à sa partie inférieure, et de quatre bras venus de fonte avec le boisseau.

Ces bras, dirigés suivant les deux diagonales du carré formé par les intersections des quatre poutres principales, sont terminés, sur toute leur hauteur, par des oreilles disposées à angle droit et présentant chacune une assez grande surface pour l'application des poutres et leur jonction avec le croisillon.

Des saillies ménagées à la partie desdites oreilles servent à l'appui des poutres, afin que les boulons qui relient ces mêmes poutres au croisillon ne supportent qu'une très-faible portion de la charge du plateau et de la machine.

Le croisillon ainsi constitué remplit très-exactement les

angles de la surface quadrangulaire formée par les intersections des poutres principales. Il porte à sa partie supérieure un chapeau dans lequel se trouve une crapaudine de 0m.200 de diamètre. Ce chapeau est relié au croisillon au moyen de six forts boulons de suspension, de 0m.040 de diamètre, dont les têtes sont sous le boisseau central et les écrous sur la partie supérieure du chapeau. Cette dernière disposition est du reste analogue à celle des plaques ordinaires de 3m.40 et de 4m.20.

Un pivot dont le diamètre est de 0m.200 pénètre, par son extrémité supérieure, dans le chapeau en question, et par son extrémité inférieure dans la douille d'une plaque en fonte, à base circulaire de 0m.800 de diamètre, qui est fixée sur la pierre centrale des fondations par quatre boulons de scellement à écrou.

Par cette première modification on n'a plus, au milieu de la plaque, qu'un seul point d'appui, le pivot, au lieu des trois qui existaient précédemment, savoir : le petit pivot de la plaque centrale et les galets de la même plaque.

Les nouveaux galets sont complétement en fer, à l'exception du moyeu dans lequel viennent se réunir les rayons ou bras. Un faux cercle entoure la circonférence formée par les bras repliés ; il est lui-même recouvert d'un bandage en fer à grain fin, cémenté et trempé. Un bombement de quelques millimètres a été donné à la surface de roulement et les arêtes du pourtour ont été rabattues de chaque côté en chanfrein, afin que dans le principe du service ces galets reposent à coup sûr, par le milieu de leur largeur, sur le chemin de roulement, dans le cas où celui-ci présenterait quelques irrégularités d'inclinaison.

On a vu plus haut que les chevalets sur lesquels viennent se réunir et s'assembler les extrémités de deux poutres principales, étaient disposés de manière à recevoir les axes des galets. En effet, les tôles qui entrent dans la construction de ces chevalets, n'étant espacées que de 0m.290,

n'avaient pas permis de donner aux axes plus de $0^m.450$, parce qu'on avait voulu utiliser pour points d'appui du plateau sur les axes les deux tôles formant plaques de garde.

Les extrémités desdits axes pénétraient donc dans des coussinets en bronze ajustés dans des boîtes en fonte solidement attachées aux tôles plaques de garde des chevalets.

Cette disposition avait deux graves inconvénients : 1° celui de se prêter mal à diriger avec précision l'axe des essieux des galets vers le centre de la plaque, condition essentielle pour un bon fonctionnement des galets; 2° celui de nécessiter l'enlèvement complet du plateau, sur $0^m.80$ à $0^m.85$ de hauteur, chaque fois qu'un galet était à remplacer; ce qui constituait une opération très-difficultueuse, longue et gênante pour le service de la traction.

Pour obvier au premier inconvénient, les boîtes en fonte ont été enlevées, et on a pratiqué une plus grande ouverture dans la plaque de garde extérieure, de manière à y placer un coussinet spécial qui prend la demi-circonférence supérieure du gros tourillon de l'essieu. Ce coussinet est entouré de deux étriers en fer rond de $0^m.030$ de diamètre, términés à leurs extrémités par une partie filetée qui reçoit un écrou et un contre-écrou.

Afin de constituer de forts points d'appui pour les écrous qui terminent les étriers, on a consolidé la plaque de garde extérieure qui n'a que $0^m.010$ d'épaisseur, en rapportant des cornières et une plaque de fer de $0^m.025$.

On a remédié au second inconvénient en découpant la plaque de garde intérieure sur toute sa hauteur et sur une largeur de $0^m.280$. Cette ouverture a ensuite été bouchée par une porte en tôle qui vient s'assembler, au moyen de boulons, sur les bords de la partie enlevée. Elle est consolidée à sa partie supérieure par des cornières.

Ces portes ou morceaux de tôle ne descendent pas assez bas, bien entendu, pour s'opposer au passage de l'essieu

qui se prolonge au delà sur une longueur de $1^{m}.685$, et qui vient, par son petit tourillon, dans les coussinets d'un support en fonte attaché à la poutre principale et à l'extérieur de la voie.

Cette nouvelle disposition permettra d'enlever et de remplacer un galet en une heure environ.

Deux plaques tournantes de 12 mètres de diamètre ont été modifiées ainsi qu'il vient d'être dit; elles sont en service au dépôt de Tergnier. Deux autres plaques semblables sont en transformation dans les chantiers de la Chapelle. La dépense occasionnée par ces améliorations est évaluée à 5 000 francs par plaque, en tenant compte des vieilles matières avariées ou sans emploi.

3° *Ponts tournants.*

Description des ponts tournants de 12 mètres de diamètre. — Depuis quelques années, la compagnie du Nord a fait établir, dans certaines stations, pour tourner les machines avec leur tender, un système de plaques ayant une certaine analogie avec les ponts tournants dont elles ont pris le nom.

Ces plaques, qui offrent toutes les garanties désirables de solidité, ont en outre l'avantage d'une installation peu dispendieuse qui permet d'en étendre l'usage, et qui facilite, par suite, le service de l'exploitation.

Les ponts tournants étudiés et expérimentés par la compagnie du Nord présentent donc, à ces divers points de vue, un certain caractère d'intérêt.

Un pont tournant de 12 mètres (Pl. 180) se compose :

1° D'un cercle de roulement extérieur de $5^{m}.100$ de rayon moyen, en fer plat de $0^{m}.150$ sur $0^{m}.025$, et formé de douze segments égaux fixés au moyen de boulons à tête fraisée, sur une charpente en chêne. Cette charpente, taillée à sa partie supérieure suivant une inclinaison déterminée par celle d'une des génératrices des galets, est un po-

lygone régulier de vingt côtés, formé de madriers de 1^{m}.900 de longueur, sur 0^{m}.300 de largeur et 0^{m}.150 d'épaisseur, assemblés à mi-bois à chacune de leurs extrémités, et supportés à chaque assemblage, sur le milieu de leur longueur, par une semelle de 1^{m}.250 de longueur, 0^{m}.250 de largeur et 0^{m}.150 d'épaisseur.

2° D'une charpente centrale octogonale composée de huit madriers de 1^{m}.80 de longueur, sur 0^{m}.300 de largeur et 0^{m}.150 d'épaisseur, assemblés aussi à mi-bois. Les joints sont supportés chacun par une semelle de 0.800 $\times$ 0.250 $\times$ 0.150. Cette portion de charpente est reliée à une autre portion ou carré central, au moyen de deux grandes pièces de 4^{m}.50 de longueur, sur 0^{m}.250 de largeur et 0^{m}.150 d'épaisseur, placées perpendiculairement entre elles, et de quatre autres pièces de 1^{m}.925 de longueur et de même équarissage que les premières.

Sur cette charpente octogonale parfaitement dressée, est fixé, au moyen de seize boulons, le cercle de roulement ou plateau fixe d'une plaque tournante de 4^{m}.20 de diamètre.

3° D'une plaque centrale de 4^{m}.20 en tout semblable, mais sans cuve, aux plaques tournantes employées dans les gares pour tourner les voitures. Cette plaque constitue une surface d'appui pour le milieu de la longueur des poutres principales, sur lesquelles reposent les rails de la voie du pont.

4° De deux chevalets ou tréteaux roulants, présentant à leur partie supérieure une surface plane. A 0^{m}.750 de chaque côté de leur axe se trouve l'axe de deux longues oreilles venues de fonte, et situées au même niveau que le dessus du plateau supérieur de la plaque centrale. Ces oreilles constituent les points d'appui des extrémités des grandes poutres.

Les chevalets sont, par leur disposition spéciale, destinés à recevoir un galet de chaque côté de l'axe de la voie,

et, d'un côté seulement, un système d'engrenages. Contre l'un de ces galets se boulonne une couronne dentée dans laquelle vient s'engrener un des pignons du système d'engrenages, lequel est mis en mouvement par les hommes qui agissent sur les manivelles placées sur l'arbre de commande de chacun des chevalets.

5° D'une charpente supérieure qui se compose de deux poutres principales en chêne ou sapin (*), de 11^{m},950 de longueur, 0^{m}.300 de largeur et 0^{m}.350 d'épaisseur, espacés de 1^{m}.50 d'axe en axe (largeur de la voie), et entretoisés à leurs extrémités et sur quelques points de leur longueur (Les entretoises, de 1^{m}.210 de longueur, 0^{m}.250 de largeur et 0^{m}.350 d'épaisseur, sont reliées aux poutres par des équerres en fonte et des boulons qui traversent le tout). De deux poutres latérales de 1^{m}.720 de longueur, sur 0^{m}.250 de largeur et 0^{m}.300 d'épaisseur, établies vers le milieu du pont et à 0^{m}.80 de distance des poutres principales, auxquelles elles sont reliées par des contre-fiches de 3^{m}.260 de longueur, 0^{m}.250 de largeur et 0^{m}.300 d'épaisseur. Ces contre-fiches sont assemblées à mi-bois avec les poutres latérales et pénètrent, de l'autre côté, dans des équerres en fonte fixées aux poutres principales; elles sont de plus reliées à ces dernières par des boulons.

Cette charpente est reliée, d'une part, à la plaque centrale au moyen de boulons qui traversent toutes les pièces de bois et la fonte; d'autre part, aux chevalets par des boulons de 0^{m}.030 de diamètre, qui constituent deux points d'attache pour chaque extrémité de poutre.

6° Enfin, d'un plancher de 0^{m}.050 d'épaisseur, recouvrant toutes les surfaces déterminées par les pièces de bois dont il vient d'être parlé; on ajoute, entre les rails seulement, des feuilles de tôle de 0^{m}.004 à 0^{m}.005 d'é-

(*) Le chêne est préférable, parce qu'il a plus de rigidité.

paisseur, dans le but de protéger le plancher contre l'action des débris de coke incandescent qui s'échappent du foyer des machines.

La voie des ponts tournants se fait avec n'importe quel modèle de rails; on doit donc être fixé sur ce point avant de placer les fondations en charpente.

A l'aide de tringles et de tirants en fer, on attache à chacun des chevalets un plancher d'une surface suffisante pour recevoir deux hommes qui agissent sur les manivelles, et mettent, par suite de l'adhérence qu'ont les galets sur le chemin de roulement, tout l'appareil en mouvement.

Les chevalets portent des verrous que l'on engage dans des gâches en fonte scellées dans la maçonnerie de la cuve, sur tous les points où il y a des voies devant lesquelles le pont est susceptible de s'arrêter pour faire passer une machine.

Le prix d'un pont tournant de 12 mètres tout monté est de 9 169f.59, savoir :

	fr.
Terrassements.	320.00
Maçonneries (*).	799.00
Ballastage du fond de la cuve, 54 mètres cubes à 5 fr. .	270.00
Charpente du cercle de roulement extérieur.	276.60
Charpente du cercle de roulement intérieur.	160.83
Cercle de roulement et ferrures diverses.	717.15
Plaque centrale en fonte, sans cuve.	2 357.27
Deux chevalets complets.	3 255.35
Charpente supérieure et plancher.	415.65
Voie (**)	248.76
Charpentes d'entrée et de sortie du pont.	38.98
Frais de main-d'œuvre de charpentiers.	250.00
Frais de main-d'œuvre de monteur mécanicien.	60.00
Total.	9 169.59

(*) Les maçonneries ont été comptées en supposant la cuve complète. Le prix de 799 francs devra donc être réduit dans le plus grand nombre de cas.

(**) On a aussi supposé une voie en rails Vignole de 37 kilogrammes par mètre courant.

RAILS EN ACIER.

Une des expériences les plus intéressantes qui aient été tentées par la compagnie de Nord, est celle des rails en acier.

On sait que les diverses pièces qui constituent les appareils de changements et de croisements de voies sont sujettes à de rapides détériorations, et qu'elles exigent par cela même un entretien difficile et dispendieux.

Désirant, autant que possible, remédier à ces inconvénients, qui sont par-dessus tout une cause de gêne pour le service, la compagnie commanda et employa en 1858, sur différents points du réseau, environ cent quarante tonnes de rails en acier puddlé, qui se divisent de la manière suivante :

barres.	mèt.	mèt.	
270	de 4.20 =	1 134.00	pour rails contre-aiguilles de changements de voie et pour rails coudés de traversées de voies.
136	de 3.70 =	503.20	pour contre-rails de traversées de voies.
135	de 3.00 =	405.00	pour contre-rails de croisements.
80	de 2.186=	174.88	pour pattes de lièvre.
100	de 6.00 =	600.00	pour voie courante.
100	de 2.30 =	230.00	pour branches ou raccords de pointes de croisements avec les rails suivants.
100	de 1.80 =	180.00	
85	de 5.08 =	431.80	pour rails contre-aiguilles.
	Total. . .	3 658.88	à 38 kilogr. (*) par mètre = 139 037k.44.

Soit en nombre rond 140 tonnes.

Tous ces rails de forme Vignole, excepté les quatre-vingt-cinq de 5m.08 qui sont à double champignon, ont été mis en œuvre à diverses époques de l'année, et déjà on a pu constater une certaine amélioration ; quelques-uns ont, à ce jour, une durée beaucoup plus considérable que n'at-

(*) La densité de l'acier étant plus grande que celle du fer, on estime que la différence de poids est d'environ 1 kilogramme par mètre courant de rail.

teignaient ceux employés précédemment, et qui étaient en fer corroyé, comme les rails de la voie courante.

Néanmoins on a remarqué, dans quelques remplacements qui ont eu lieu après cinq et six mois de service, que les nouveaux rails laissaient à désirer sous le rapport de la soudure, et que l'usure ne se produisait pas par feuillets minces ou pellicules, mais par le détachement de lames assez épaisses.

Quoi qu'il en soit, il est reconnu que l'acier puddlé a sur le fer un grand avantage; mais il est présumable que la compagnie n'obtiendra de résultats très satisfaisants, surtout pour les pattes de lièvre qui fatiguent beaucoup, qu'en employant des aciers fondus. C'est du reste un essai qu'elle fait en ce moment : depuis le 25 juin dernier, plusieurs pattes de lièvre en acier sont en service sur les voies principales, dans la station de Saint-Denis et près des fortifications de Paris, à la bifurcation provisoire de la ligne de Creil par Chantilly.

Ces nouvelles pattes de lièvre proviennent d'une fourniture spéciale de 10 tonnes ou 70 barres, toutes de forme Vignole, qui se décomposent de la manière suivante :

	met.		met.	
10 barres de	4.20	=	42	pour rails contre-aiguilles.
50 barres de	3.70	=	185	pour contre-rails de croisements.
10 barres de	3.00	=	30	pour pattes de lièvre.
70 barres mesurant ensemble			257	à 38 kilogrammes = 9 766 kilog.

Soit en nombre rond 10 tonnes.

Enfin, une dernière commande a été faite par la Compagnie du Nord au commencement de mai dernier; elle se compose de 14 tonnes en 100 barres d'acier fondu, de 3m.70 de longueur, pour contre-rails de croisements, et de 59 tonnes d'acier puddlé, en 500 barres qui se divisent ainsi :

	mèt.		mèt.	
200 barres de	4.20	. . . . =	840	pour rails contre-aiguilles.
100 barres de	3.00	. . . . =	300	pour pattes de lièvre.
100 barres de	2.30	. . . . =	230	pour raccords de pointes de croisements avec les rails suivants.
100 barres de	1.80	. . . . =	180	
500 barres mesurant ensemble			1 550	× 38 = 58 900 kilogrammes.

Soit 59 tonnes.

Les fournisseurs garantissent les rails en acier fondu pendant deux ans et demi en service; le prix de ces rails est très-élevé : il est de 930 francs la tonne.

PRÉPARATION DES BOIS.

Procédés expérimentés. — Divers procédés ont été expérimentés par la compagnie du Nord pour prolonger la durée des traverses.

Le premier date de 1846 : il consistait en une peinture à la glu marine. Appliquée à 120 000 traverses, ce procédé n'a pas donné de résultat satisfaisant.

Le second date de la construction des lignes de Calais et de Dunkerque, et de Creil à Saint-Quentin : les traverses étaient trempées dans un bain de sulfate de cuivre à la température de 70°. Ce procédé a dû être également abandonné, les bois s'étant détériorés, à peu de chose près, aussi rapidement que s'ils n'eussent subi aucune préparation.

Le troisième, désigné sous le nom de Payn, a été expérimenté vers la même époque, concurremment avec le précédent, pour une partie des traverses nécessaires à l'établissement de la ligne de Creil à Saint-Quentin. Il consiste à injecter dans le bois, à l'aide de l'appareil Bethell, deux solutions successives, l'une de sulfure de baryum, et l'autre de sulfate de fer. Ce procédé, appliqué avec soin, présentait quelques avantages sur les deux premiers.

Un peu plus tard, les traverses du système Pouillet, employées sur une partie de la ligne de Saint-Quentin à

Erquelines ont été préalablement enduites d'un composé de goudron, de poix-résine et d'essence de térébenthine.

Le cinquième procédé, celui de M. Bethell, qui consiste en une injection de créosote brute (produit de la distillation du goudron des usines à gaz) dans le tissu ligneux, par une pression en vase clos, après l'expulsion de l'air, a été employé à la Chapelle, pendant les années 1855, 1856 et 1857, pour la préparation d'environ 100,000 traverses Pouillet.

Le sixième, imaginé par le docteur Boucherie, consiste à remplacer la séve, qui est pour les bois abattus une cause de destruction, par un liquide conservateur, le sulfate de cuivre.

Le septième, enfin, ou procédé Légé, tient à la fois de la méthode Boucherie par la dissolution, et de la méthode Bethell par l'appareil d'introduction.

L'application du procédé Boucherie a été faite sur une grande échelle par la compagnie du Nord ; cet exemple a été depuis suivi par d'autres compagnies de chemins de fer. Nous nous attacherons donc tout particulièrement à ce mode de préparation, et nous dirons ensuite quelques mots sur le procédé Légé.

Procédé Boucherie.—Installation du chantier de préparation. — Le terrain choisi pour l'installation d'un chantier de préparation doit être disposé suivant une pente régulière de trois à quatre millimètres par mètre, suivant laquelle sont établies, parallèlement, deux rigoles en bois, adossées extérieurement à deux longrines destinées à supporter, par leurs extrémités, les billes à injecter.

Ces rigoles communiquent, au moyen de l'inclinaison du chantier, à un réservoir commun placé au point le plus bas ; elles doivent être écartées l'une de l'autre de $5^m.10$ à $5^m.20$, distance correspondante à la longueur des billes mises en préparation.

Au-dessus du réservoir commun, à une hauteur de 8 à

10 mètres, est installée une autre cuve dans la partie inférieure de laquelle est fixée une conduite en plomb qui amène, dès qu'on ouvre un robinet, le liquide conservateur entre les deux rigoles précitées. Cette conduite a des prises ménagées de 0m.80 en 0m.80 correspondant à l'espacement qu'il doit y avoir entre les axes des billes consécutives.

La capacité des cuves supérieures et inférieures est naturellement proportionnée au nombre de pièces à injecter en même temps.

Disposition des bois sur le chantier de préparation. — Le chantier ainsi établi, les bois destinés aux traverses de chemin de fer sont, autant que possible, coupés par billes de 5m.10 à 5m.20, ainsi qu'il a été dit plus haut, c'est-à-dire suivant une longueur égale à celle de deux traverses. Ces billes sont amenées et calées sur les longrines ou supports, de telle sorte que les extrémités de chacune d'elles soient placées immédiatement au-dessus des rigoles.

Ces dispositions étant prises, on fait, à la scie, perpendiculairement à l'axe des billes et dans le milieu de leur longueur, une section égale aux 9/10 environ de leur diamètre. Chacune des billes est alors soulevée par son milieu et, dans la section ainsi entr'ouverte, on introduit, tout-à-fait au bord, une corde de chanvre amincie par les deux bouts; puis on laisse redescendre la bille qui, reposant exclusivement par ses deux extrémités sur les longrines contiguës aux rigoles, exerce par son propre poids une pression sur la corde et ferme hermétiquement la section, tout en laissant cependant entre ses deux parois un intervalle libre de plusieurs millimètres.

On pratique ensuite, à l'aide d'une tarière, sur le dessus de chaque bille et à 8 centimètres environ du trait de scie, un trou oblique qui va rejoindre la section transversale à 10 centimètres plus bas.

On introduit dans ce trou une robignole en bois ajustée

à l'extrémitée d'un tube en caoutchouc fixé lui-même au conduit principal placé, suivant l'axe du chantier, sur une rigole spéciale.

Injection. — On ouvre alors le robinet de la cuve supérieure et l'infiltration commence simultanément dans chaque moitié des billes, en sens contraire. La séve s'écoule, à chaque extrémité, poussée par le sulfate de cuivre qui, bientôt, s'écouleà son tour, plus ou moins affaibli. On laisse continuer cette infiltration durant quarante-huit heures environ, temps pendant lequel il a dû passer au travers du tissu ligneux un volume de liquide à peu près égal à trois fois le volume du bois.

Ce liquide mêlé de séve est amené, par les rigoles extrêmes, dans le réservoir commun placé en contre-bas du sol, pour être ensuite remonté au moyen d'une pompe dans la cuve supérieure, après une addition de sulfate de cuivre destinée à rétablir le degré de la solution.

Les traverses cubant en moyenne $0^{m}.086$ peuvent contenir 75 grammes de sulfate.

Un stère de bois préparé peut fournir dix traverses. Une partie des déchets est utilisée pour la confection des clôtures des stations et pour les piquets des clôtures ordinaires ou treillage.

Vérification de la préparation. — Le résultat de la préparation est constaté au moyen d'un réactif composé de 90 grammes de cyano-ferrure de potassium dissous dans un litre d'eau, que l'on étend avec un pinceau sur la surface des traverses. Les pièces ne sont réputées bien préparées que lorsque le réactif donne une coloration rouge.

Dispositions spéciales aux billes de faibles longueurs. — Il arrive parfois que les billes à injecter n'ont que la longueur d'une traverse, c'est-à-dire $2^{m}.60$ environ. Dans ce cas, le trait de scie est remplacé par un plateau circulaire ou polygonal, au centre duquel s'engage un boulon fileté d'un pas

de vis à bois. On pratique dans l'axe de la bille un trou de tarière pour faciliter l'entrée de la vis, et, lorsqu'il ne reste plus entre le plateau et la bille qu'un intervalle d'un centimètre environ, on introduit tout autour une corde de chanvre de grosseur uniforme; puis on serre à l'aide du boulon, de manière à rendre étanche le joint circulaire.

Un trou oblique préalablement pratiqué, soit sur le dessus de la bille, soit au travers du plateau, permet d'introduire la dissolution de sulfate de cuivre de la même manière que dans la préparation des billes correspondant à la longueur de deux traverses.

Inconvénients des bois de fortes dimensions. — Lorsque les billes atteignent un certain diamètre, la préparation devient plus longue et plus difficile. Il arrive souvent qu'on est obligé de retourner les billes et de leur faire subir une dernière injection en sens inverse de la première. L'opération peut alors durer huit à dix jours, quelquefois plus; et cependant, la quantité du liquide qui aura dû traverser le bois ne dépassera pas plus de deux à trois fois le volume des billes.

La double opération est aussi nécessaire quand les fibres du bois sont serrées et que, par cela même, le liquide ne peut passer que difficilement.

La densité du bois étant plus grande au centre qu'au pourtour, et cette différence étant d'autant plus sensible que les billes sont plus grosses, on conçoit en effet que le passage du liquide conservateur éprouve une résistance de plus en plus grande au fur et à mesure que le diamètre augmente. L'infiltration ne s'effectuant alors que très-lentement, la quantité de liquide écoulée sera relativement moins considérable que dans la préparation des billes de grosseur ordinaire, c'est-à-dire de $0^m.30$ à $0^m.40$ de diamètre.

En thèse générale, les pièces de bois se préparent d'au-

tant plus vite qu'elles ont moins de longueur et que le liquide y arrive sous une plus forte pression. On estime que la vitesse du liquide à travers le bois est en raison inverse du carré de la longueur de la bille. Cette formule n'a du reste rien d'absolu ; elle doit évidemment varier suivant la grosseur des billes et la texture des tissus ligneux.

Essences des bois préparés. — Les bois préparés d'après le procédé Boucherie et qui ont été employés sur le réseau du Nord sont d'essence de hêtre, de charme, de bouleau et de pin, mais principalement des deux premières, que l'on trouve plus facilement et en plus grandes quantités dans un certain rayon du chemin de fer, et qui d'ailleurs sont plus propres, en raison de leur dureté, à résister sous les coussinets et sous les rails.

Prix de revient. — Le prix de revient de la préparation est de 14 à 15 francs par mètre cube de bois pouvant produire dix traverses ; soit pour une traverse 1 fr. 40 à 1 fr. 50 cent.

Un kilomètre de simple voie exigeant 1167 traverses (7 traverses par longueur de rail de 6^{m}), la dépense occasionnée par l'emploi du moyen de conservation, peut donc être évaluée à 1700 francs environ par kilomètre de simple voie.

Il y a lieu de remarquer toutefois que cette dépense ne constitue pas une augmentation sur le prix des traverses en chêne. La compagnie du Nord paye en effet, dans les deux cas, les traverses 6 francs pièce, rendues sur les principaux dépôts.

La préparation permet ainsi d'admettre des bois d'essences tendres qui seraient certainement délaissés, si l'on n'était parvenu à les préserver d'une prompte décomposition.

Nombre des traverses employées. — Le nombre des traverses préparées par le procédé Boucherie et employées par la

compagnie du Nord depuis 1846 jusqu'au 31 décembre 1857, a été d'environ	710 000
Celui des traverses fournies ou à fournir, par suite des marchés passés en vue de la substitution de la ligne d'Amiens à Boulogne et de la construction des lignes concédées par le décret du 26 juin 1857, peut être évalué à environ.	600 000 (*)
Total.	1 310 000

Résultat des expériences. — L'efficacité du procédé Boucherie a pu être constatée d'une manière complète en 1857, lors de la consolidation des voies de la ligne de Creil à Saint-Quentin. Cette consolidation, qui consistait dans l'éclissage des rails et l'addition d'un nouveau support par longueur de rail de 4m.50 ou de 5m.00, a permis de visiter avec soin toutes les traverses préparées, et on a reconnu que lorsque la préparation était complète, les bois n'avaient subi aucune altération.

Un grand nombre de traverses incomplétement préparées ont dû être, il est vrai, remplacées. Ces faits semblent attester, d'une part, l'inexpérience des agents, et d'autre part, l'imperfection des procédés et des moyens de vérification employés à l'époque des premières livraisons.

Procédé Légé et Fleury. — Description des appareils. — Par ce procédé, différent de ceux qui ont été pratiqués pour la préparation au sulfate de cuivre, les bois sont traités en vase clos, en faisant successivement agir le vide et une forte pression mécanique.

(*) Le nombre des traverses nécessaires à l'établissement des nouvelles lignes, y compris la substitution de la ligne d'Amiens à Boulogne, est évalué à 1 200 000. La compagnie du Nord n'a demandé jusqu'à présent à ses entrepreneurs que la moitié environ de ce dont elle aura besoin, pour ne pas prendre d'engagements au delà de 1860.

L'appareil de MM. Légé et Fleury se compose :

1° D'un cylindre en cuivre, de 12^m. de longueur et de 1^m.60 de diamètre, terminé à un bout par une calotte sphérique rivée au corps du cylindre, et à l'autre bout par une cornière contre laquelle vient se fixer, par des mâchoires à vis de pression, un fond légèrement bombé ;

2° De chariots roulants avec essieux et roues en cuivre, sur lesquels on charge les bois à préparer ;

3° D'une locomobile de la force de dix à douze chevaux, servant de générateur pour la vapeur qui doit être injectée dans le cylindre, et de moteur pour les pompes à air et à injection.

Courant de vapeur. — Quand le cylindre est chargé de bois et le couvercle hermétiquement fermé, on fait passer un courant de vapeur pour échauffer le bois et chasser l'air renfermé dans l'appareil. La vapeur traverse, en sortant du cylindre, un serpentin plongé dans la cuve et échauffe la dissolution de sulfate de cuivre. Cette partie de l'opération dure environ quinze minutes.

Dès que la vapeur sort sans entraîner de matières étrangères, on ferme les robinets et on met le cylindre en communication avec un condenseur dans lequel on fait arriver un courant d'eau froide qu'on évacue avec une des pompes à air placées sur la locomobile ; puis on fait le vide à la pression de 0^m.05 à 0^m.06 de mercure, et on le maintient pendant un quart d'heure environ.

Introduction de la dissolution. — C'est alors qu'on ouvre le robinet de la conduite qui fait communiquer le cylindre avec la dissolution de sulfate de cuivre.

Cette dissolution contient deux kilogrammes de sulfate de cuivre pour 100 litres d'eau ; elle est à une température de 40 à 45 degrés centigrades ; elle est d'abord introduite naturellement dans le cylindre, dont on complète le remplissage par une pompe foulante qui élève et maintient la pression à douze atmosphères.

Cette partie de l'opération dure une demi-heure environ ; il ne reste plus ensuite qu'à ouvrir le cylindre pour retirer les chariots.

Il résulte des expériences qui ont été faites pour constater les quantités de liquide introduites dans les bois de différentes natures, que l'augmentation du poids par kilogramme de bois a varié entre $0^k.83$ pour le charme, et $0^k.24$ pour le chêne.

On a également reconnu qu'après l'injection de la vapeur d'eau, le bois destiné à être préparé n'avait subi qu'une augmentation de poids de 2.4 p. 100. Cette faible quantité ne peut influer d'une manière sensible sur les augmentations de poids attribuées, dans les tableaux d'expériences, à la dissolution de sulfate de cuivre.

Opinion de M. de Hennezel, ingénieur en chef des mines, sur ce mode de préparation. — Les principaux avantages que présenterait le procédé de MM. Légé et Fleury sont résumés dans le rapport de M. de Hennezel, qui a fait dans le département de la Sarthe de nombreuses et intéressantes expériences sur ce mode de préparation :

1° Il produit une pénétration plus complète que le procédé Boucherie, où la dissolution est employée sous une faible pression et à froid ;

2° Il permet de préparer les bois très-rapidement en toute saison et longtemps après l'abatage ; d'où résultent des facilités et de l'économie pour des livraisons importantes ou régulières ; tandis que la filtration par déplacement ne peut avoir lieu qu'à une époque très-rapprochée de celle de la coupe ;

3° Il s'applique aussi bien aux bois débités qu'aux bois en grume. Outre que ce mode d'opérer est plus efficace, il fait économiser la préparation de la notable proportion de bois (au moins un quart du volume) que l'équarissage et la façon font passer dans les déchets, ainsi que celle de certaines pièces saines à l'extérieur et que des défauts inté-

rieurs font rejeter lorsque le débitage les a mis à nu.

Il fait éviter la difficulté, et par conséquent l'augmentation de dépense, que présente le travail du bois préparé et la prompte destruction d'outils que ce travail occasionne.

Il convient à la préparation des bois destinés aux usages les plus variés et pour lesquels le procédé de M. Boucherie n'est pas ou n'est que très-difficilement applicable : tels sont les bois de charpente de toute espèce, les bois des mines, certains bois de menuiserie, les pieux, les parquets de toute forme, etc. ;

4° Au moyen des dispositions adoptées par MM. Légé et Fleury, leur procédé comparé à celui de M. Boucherie donne une économie de plus de 40 p. 100.

Opinion de M. Vésignié, ingénieur de la marine. — Dans un rapport adressé à son administration, M. Vésignié, ingénieur de la marine, a ainsi résumé les résultats généraux de ses expériences :

Dans tous les bois, quelle que soit leur nature, l'aubier est injecté d'une manière complète ; les entr'écorces, les parties mortes ou desséchées sur pied ; en un mot, toutes les parties dans lesquelles la séve avait cessé de circuler, résistent à l'injection d'une manière absolue.

Les parties échauffées ou gâtées s'empreignent d'une plus grande quantité de liquide que le bon bois.

Les bois de coupe fraîche, ou plus généralement les bois humides, que cette humidité provienne des liquides séveux ou de causes étrangères à la végétation, absorbent beaucoup moins de liqueur, par mètre cube, que les bois secs ; l'injection y est toujours incomplète et très-irrégulière.

Enfin la liqueur ne pénètre guère qu'en suivant le fil du bois, et ne pénètre jamais transversalement d'une couche annuelle à sa voisine, si ce n'est dans les couches d'aubier les plus tendres.

Prix de revient. — D'après M. Vésignié, les dépenses de préparation par le procédé Légé et Fleury, pourraient être évaluées de la manière suivante :

12 hommes à la charge et à la décharge, injectant par jour 60 mètres cubes de bois (environ 700 traverses), et payés à raison de 3 francs l'un.	fr. 36
1 chauffeur.	5
1 chef de chantier.	6
Chauffage et entretien de la machine.	25
Sulfate de cuivre, 360 kilogrammes (6 kilogrammes par mètre cube) à $1^{f}.30$ le kilogramme.	432
Amortissement en dix ans, à 5 p. 100, d'une somme de 60 000 francs, représentant la valeur des appareils. . . .	23
Total.	527

Soit, par mètre cube, $8^{f}.71$, ou en nombre rond 9 fr.; et par traverse, $0^{f}.77$; d'où résulterait une économie de près de 50 p. 100 sur le procédé Boucherie (*).

Sans discuter autrement la valeur du procédé de MM. Légé et Fleury, nous pensons qu'on a pu exagérer les avantages qu'il présente sur le procédé de M. Boucherie.

Il est vrai que l'injection en vase clos est beaucoup plus expéditive et qu'elle peut s'appliquer en toute saison et à des bois abattus depuis longtemps ; mais il ne faut pas perdre de vue que les appareils nécessaires à la préparation par simple déplacement sont peu dispendieux ; que l'on peut, par suite, moyennant une somme relativement faible, agrandir les chantiers ou en installer de nouveaux, soit dans la forêt même, soit sur un point voisin, et préparer ainsi les bois au fur et à mesure de l'abatage. Tandis que, par le procédé Légé et Fleury, l'injection est toujours incomplète et très-irrégulière lorsqu'elle s'applique à des bois humides ou de coupe fraîche.

(*) Il y a lieu de remarquer que par la préparation en grume (procédé Boucherie), le nombre des traverses obtenues par mètre cube de bois est généralement de dix, tandis qu'un mètre cube de bois débité représente près de douze traverses.

Nous croyons aussi que le débit des billes après l'injection n'exerce pas sur les scies et autres outils une action destructive sensiblement plus grande que s'il avait lieu avant l'injection, et qu'il n'y a pas à en tenir compte.

L'objection relative aux déchets perd de son importance si l'on considère que les compagnies de chemins de fer, et notamment celle du Nord, acceptent des traverses demi-rondes. D'ailleurs si la destination des bois rend l'équarrissage nécessaire, il est toujours facile d'utiliser, en confection de coins ou de piquets de clôtures, les déchets provenant de cet équarrissage.

Le débit des bois après l'injection exonère les compagnies de toute surveillance; il permet aux agents réceptionnaires de s'assurer si la pénétration est complète. Il n'en est pas de même du procédé Légé, qui met les compagnies dans la nécessité de faire surveiller très-attentivement les dosages et les diverses phases de chaque opération, et d'imposer en outre aux préparations cette condition, que dans chaque opération il sera introduit au moins deux pièces de bois, l'une de longueur double et l'autre d'épaisseur double des autres, pour que l'on puisse, par le sciage, s'assurer si l'imprégnation ne laisse rien à désirer.

Comparaison entre les prix. — La comparaison des prix de revient des deux modes de préparation accorde au procédé Légé une économie qui, selon nous, ne doit être admise qu'avec réserve. Il y a lieu de remarquer, en effet, que le chiffre de 15 fr., représentant le prix de la préparation Boucherie, comprend le droit de brevet. Si nos renseignements sont exacts, ce droit serait de 3 fr. par mètre cube.

Dans le sous-détail de la préparation Légé, il n'a pas été fait mention d'une subvention analogue, qui devra, le plus généralement, être ajoutée au prix de 9 fr. indiqué par M. l'ingénieur Vésignié.

Il paraît donc certain que la différence qui existe entre

les dépenses afférentes à chacune des deux préparations est beaucoup moins grande qu'on ne l'avait d'abord supposé. Cette opinion serait d'ailleurs justifiée par deux commandes faites tout récemment par la compagnie du Nord à M. Tattegrain, à Amiens, qui a installé un chantier pour l'application du procédé Légé, et qui, malgré l'intérêt évident qu'il avait à faire adopter ce mode de préparation, n'a pu s'engager à fournir des bois à un prix inférieur à celui demandé par les concessionnaires du procédé Boucherie.

La première de ces commandes était de 50 mètres cubes de bois de grandes dimensions, pour changements et croisements de voies, à raison de 90 fr. le mètre cube.

La seconde est de 10 000 traverses à fournir au prix de 5f.70 pièce, prises à Amiens.

Détérioration des traverses par suite du contact des fers. — Nous compléterons nos observations sur la préparation et l'emploi des bois préparés en signalant une remarque qui a été faite par les agents du service d'entretien : on a constaté que des traverses préparées au sulfate de cuivre s'étaient détériorées à l'emplacement du sabotage, et que des remplacements avaient dû avoir lieu, bien que ces traverses ne fussent en service que depuis quelques années seulement.

Cette détérioration, qui se manifeste tout particulièrement sur les fibres du bois correspondant aux chevillettes et aux crampons, paraît devoir être attribuée au contact du fer avec la préparation.

Afin de remédier à cet inconvénient, la compagnie a prescrit à tous les agents de n'employer, à l'avenir, aucune traverse en bois préparé sans qu'au préalable les entailles faites pour le sabotage, et plus spécialement encore les trous destinés à recevoir les chevillettes, tire-fond ou crampons, n'aient été goudronnés avec le plus grand soin. Ce goudronnage doit être fait, autant que possible, sur des

surfaces sèches et par conséquent quelque temps après l'entaille et le perçage.

Nous devons, en terminant, exprimer notre vive reconnaissance envers M. Alquié, ingénieur du matériel des voies du chemin de fer du Nord, qui a bien voulu mettre à notre disposition tous les documents qui nous étaient nécessaires, et remercier MM. Dutro et Daullé, conducteurs des ponts et chaussées attachés au service de contrôle, ainsi que M. Poulet, inspecteur du matériel des voies, qui, par leur concours, ont contribué à l'intérêt que peut présenter ce travail.

NOTES.

NOTE N° 1

Sur la durée moyenne des voies de la ligne de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, et sur le nombre des rails cassés pendant la période de la substitution.

La ligne de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, a été livrée à la circulation :

1° De Lille et de Valenciennes à la frontière, en novembre 1842 ;

2° D'Arras à Lille et à Valenciennes, en avril 1846 ;

3° De Paris à Arras, en juin 1846.

Les sections de Lille et de Valenciennes à la frontière ne représentant à peine qu'un douzième de la longueur totale de la ligne, et n'ayant donné lieu dans l'origine qu'à un trafic relativement très-faible, on peut admettre que l'exploitation n'a été organisée qu'en juin 1846.

D'un autre côté, la substitution, commencée en septembre 1853, n'a été conduite avec quelque activité qu'en 1854, pour être terminée en octobre 1856.

Les premières voies d'établissement du chemin de fer de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, ont donc fait un service moyen de neuf années. Pendant cette

période, le nombre des trains, tant de voyageurs que de marchandises, qui ont circulé dans les deux sens a été d'environ

238 000 entre Paris et Amiens,

102 000 entre Amiens, Lille et Valenciennes.

Voici, en chiffres ronds, l'état résumé par année de la marche du remplacement des voies, commencé, ainsi qu'il a été dit plus haut, en septembre 1853 et terminé en octobre 1856 :

	mèt.
1853-1854	142 000
1855	250 000
1856	258 000
Total	650 000

La moyenne de la substitution a donc été de :

	mèt.
Par mois, en 1853-1854	8 875
Par mois, en 1855	20 833
Par mois, en 1856	25 800

La moyenne pendant la durée totale du travail a été d'un peu plus de 17 kilomètres de simple voie par mois. Pendant cette période, de nombreuses ruptures de rails se produisaient journellement sur les anciennes voies : elles sont résumées dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des parties de lignes.	LONGUEURS correspondantes.	RAILS cassés pendant l'année.				TOTAUX.
		1853	1854	1855	1856	
	m.					
Paris à Enghien	11.323	58	63	11	9	141
Enghien à Pontoise	17.433	27	57	»	1	95
Pontoise à Creil	38.573	22	74	15	»	111
Creil à Amiens	80.310	573	494	341	13	1431
Amiens à Douai	92.635 (a)	266	811	885	114	2076
Douai à Lille	33.399	114	254	96	»	464
Lille à la Frontière	14.882 (b)	2	4	8	»	14
Douai à Valenciennes	35.804 (c)	27	104	63	4	198
Valenciennes à la frontière	12.006	14	19	28	»	61
Totaux	336.365	1103	1890	1447	151	4591

(a) Y compris le raccordement de Longueau.
(b) Y compris le raccordement de Fives.
(c) Y compris le raccordement de Douai.

Un fait a été reconnu pendant la période de substitution : le nombre des rails cassés a été plus considérable sur les pentes et sur les rampes que sur les paliers.

Cette constatation a notamment été faite sur les 88 kilomètres compris entre Amiens et Douai.

Dans cette section, qui comprend les rampes les plus fortes de la ligne, qui est soumise à une circulation considérable, et qui enfin n'avait pas été l'objet de substitutions partielles, on a reconnu que pendant les deux années qui ont précédé la substitution, il y a eu sur la voie de gauche 364 ruptures, ou 4.10 par kilomètre, et sur la voie de droite 479, ou 5.45 par kilomètre.

La différence s'explique par le poids des trains, plus considérable au retour.

Sur les paliers de cette section, les ruptures ne dépassent pas en moyenne, pendant la même période, 2.00 par kilomètre.

L'influence des pentes et rampes sur les voies, et par suite sur le matériel mobile, est mise en relief par ces chiffres.

Aucun accident sérieux n'est résulté de l'affaiblissement des rails ; il a suffi, pour prévenir tout danger, de ralentir en certains points la marche des trains. Un service spécial de surveillance avait du reste été organisé pour reconnaître et remplacer les rails cassés.

Sans préjuger la durée probable des nouvelles voies de la ligne de Paris en Belgique, il ne paraît pas douteux que ces voies résisteront beaucoup plus longtemps que celles du premier établissement, par suite :

De l'augmentation du poids des rails et du nombre de leurs supports ;

De l'éclissage des joints ;

Des nouvelles conditions de fabrication imposées aux fournisseurs de rails, et de l'organisation de la surveillance dans les usines ;

De la diminution du poids supporté par les essieux des grosses machines. Les machines du Creusot à trois essieux couplés, dont deux agissaient sur les rails avec des poids de plus de 13 tonnes, ont, en effet, reçu un essieu d'allége à petites roues folles, qui réduit à 10^{t}.500 environ l'adhérence fournie par chaque essieu couplé.

NOTE N° 2

Sur l'organisation adoptée pour opérer le remplacement des voies sans gêner l'exploitation de la ligne, et sur la composition et l'outillage des ateliers de substitution.

Marche générale. — Avant de procéder à la substitution du nouveau rail à l'ancien, on répartissait le long de la ligne des matériaux qui devaient entrer dans la composition des nouvelles voies.

Les traverses étaient sabotées à l'avance, et les coussinets fixés provisoirement sur les traverses.

Les rails à employer n'ayant pas la même longueur que les rails à enlever, il était indispensable d'assortir préalablement les nouveaux rails, de manière à en faire une longueur exactement égale à celle que l'on devait démonter. Les anciens rails étaient en général de 4^{m}.50 ; les nouveaux ayant 6 mètres, trois de ceux-ci correspondaient à quatre anciens.

Quand cette coïncidence n'avait pas lieu, on rétablissait la continuité de la voie en coupant un vieux rail à longueur convenable, au moyen d'une forge de campagne qui suivait l'atelier.

On n'a admis les fausses coupes en rails de 37 kilogrammes que dans les jonctions définitives de diverses parties de poses faites avec ces matériaux, en évitant autant que possible cette sorte de raccordement.

Ces opérations préliminaires terminées, on s'occupait du remaniement des voies.

La voie à remplacer était d'abord dégarnie de son sable, de manière à dégager toutes les traverses. L'atelier chargé de ce travail devait être de 100 mètres seulement en avance sur celui qui était chargé de remanier les parties récemment posées. Le chef du premier atelier était porteur d'un tableau indiquant, pour le kilomètre et la voie où il travaillait, l'heure du passage de chaque train et l'intervalle entre les deux trains consécutifs. Quand il était sûr de pouvoir disposer d'une demi-heure au moins, il s'occupait tout de suite du démontage.

L'atelier de pose reconstruisait alors la voie au fur et à mesure avec les matériaux approvisionnés, et en procédant avec précaution, de manière à pouvoir rétablir la continuité à un moment quelconque, en cinq minutes au plus.

Le travail du démontage devait être arrêté à temps pour que tout fût en état dix minutes avant l'arrivée des trains attendus.

Des traverses à quatre coussinets servaient à relier la nouvelle pose à l'ancienne, en faisant tomber les joints entre les coussinets accouplés.

Les poseurs dirigeaient leur travail de telle sorte, qu'au dernier moment le rail qui devait servir de clef de pose pût être placé sans difficulté.

Il y avait à la disposition de l'atelier, en cas d'erreur, deux rails raccourcis d'un centimètre pour les jonctions; mais ces rails ne restaient pas dans la pose.

Les traverses et autres matériaux de l'ancienne voie étaient, immédiatement après leur enlèvement, déposés sur les accotements, à $1^{m}.20$ au moins des voies et en ordre, de manière à ne pas faire obstacle à la circulation des trains.

L'atelier de pose était suivi de près par un autre atelier

chargé de faire le bourrage nécessaire, et de regarnir la voie avec le sable mis de côté.

Le travail a été fait sur les voies dans le sens de la marche des trains.

DISTRIBUTION DU TRAVAIL PAR BRIGADE.

Première brigade. — Lorsque la voie était dégarnie de son sable jusqu'au niveau de la face inférieure des traverses, et que les rails et les traverses étaient enlevés, le chef de la première brigade commençait par marquer sur le ballast, avec la règle divisée, l'emplacement que les nouvelles traverses devaient occuper définitivement, et les sept ouvriers de la brigade les déposaient à peu près dans leur position, en commençant par les traverses de joints, dans la pose des rails Vignole, ou par les traverses voisines des joints dans la pose des rails à double champignon. Ces premières traverses étaient placées avec plus de précision et tenues un peu plus élevées que les traverses intermédiaires.

Les coussinets n'étant plus cloués dans l'axe des traverses, on posait celles-ci de façon que leur face latérale la plus voisine des coussinets fût toujours du côté de l'arrivée des trains.

Deuxième brigade. — Cette première opération terminée sur une certaine longueur, le chef de la deuxième brigade, avec deux hommes munis d'une grosse pince, alignait entre les traverses de joints ou voisines des joints les traverses intermédiaires, et les cinq autres hommes de la même brigade apportaient les rails, qu'ils introduisaient dans les coussinets. Ces mêmes hommes posaient ensuite les éclisses avec leurs boulons, mais sans serrer les écrous.

Ils réglaient aussi les joints d'après la température du moment; ils se servaient, à cet effet, de cales qu'ils interposaient entre les extrémités des rails. L'épaisseur des cales variait de millimètre en millimètre, de 1 à 3. Après avoir

observé à l'ombre, au moyen d'un thermomètre, la température de l'air, le chef de brigade disposait les joints ainsi qu'il suit :

	mèt.
Jusqu'à 5° au-dessus de zéro, à. . . .	0.003
De 5° à 20°, à.	0.002
De 20° et au-dessus, à.	0.001

Troisième brigade. — Quand les rails étaient posés dans les coussinets, le chef de la troisième brigade procédait au coinçage de la manière suivante :

L'un des ouvriers marquait sur les rails, avec de la craie, la position exacte des coussinets intermédiaires;

Le deuxième ouvrier distribuait les coins auprès des traverses;

Le troisième et le quatrième ouvriers, munis chacun d'une grosse pince ou d'un anspect, soulevaient ou déplaçaient les traverses, de manière à faire porter le rail sur la semelle du coussinet, au point marqué avec la craie;

Le chef de brigade, en même temps que les deux ouvriers ci-dessus soulevaient les traverses, posait les coins et assurait la régularité du joint en exerçant sur le bout du rail qu'il posait un effort suffisant pour serrer la cale placée par la deuxième brigade.

Les coins étaient introduits et frappés dans le sens de la marche des trains, à l'exception des coins des traverses extrêmes de chaque rail, qui ont toujours été chassés vers les éclisses par suite du faible intervalle (0m.60) laissé entre les traverses.

Pendant qu'on soulevait les traverses pour procéder au coinçage, les ouvriers disponibles les garnissaient en dessous, avec la pelle ou la pioche, de la quantité de ballast nécessaire pour les maintenir à la hauteur requise.

Les éclisses étaient alors serrées à peu près à fond.

Travail en commun. — Les deux premières brigades prenaient bientôt de l'avance sur la troisième; quand cette

avance était jugée suffisante, chacune des deux premières brigades se reportait en arrière pour procéder :

1° Au garnissage des traverses;

2° A un bourrage à peu près complet;

3° Au dressement définitif et au serrage à fond des éclisses.

La troisième brigade se mettait aussi à ce travail dès qu'elle était disponible.

Ce qui vient d'être dit sur la distribution du travail par brigade s'applique plus spécialement à la pose des rails à double champignon; mais on ne s'est écarté de ces règles, dans la pose des rails Vignole, qu'en ce qui concerne l'emploi des crampons. Il suffira de noter que les crampons n'étaient frappés qu'après le bourrage à peu près complet des traverses, afin d'obtenir une adhérence parfaite entre leur surface et celle des rails.

Signaux. — Pour chaque chantier, les signaux d'arrêt étaient faits pendants toute la durée du remaniement de la voie à 800 mètres en arrière du point où s'exécutait le travail. Un homme connaissant parfaitement les signaux était chargé de ce service. Outre le signal fait au moyen du drapeau, il devait placer deux pétards auprès de lui sur la voie interceptée, et ne les retirer que quand il était bien certain que la circulation était rétablie.

Un garde de nuit spécial était posté sur chaque chantier.

On a maintenu, de jour et de nuit, un signal de ralentissement à 500 mètres en arrière de chacun des points où la voie venait d'être remaniée, jusqu'à ce qu'elle ait été mise en parfait état d'entretien.

Les trains affectés au service de la substitution étaient sous la conduite d'un agent spécial : ils ne stationnaient sur les voies principales que le temps rigoureusement nécessaire au chargement ou au déchargement des matériaux. Sous aucun prétexte, le stationnement ne pouvait avoir lieu

sans que préalablement les signaux d'arrêt n'eussent été faits à 800 mètres en arrière. Ces signaux étaient maintenus pendant cinq minutes au moins après que le train s'était remis en marche.

Les trains de service étaient d'ailleurs expédiés de manière à ne jamais entraver la marche des trains réguliers.

Le nombre des machines affectées simultanément aux transports relatifs à la substitution des voies a été de dix en moyenne, à peu près également réparties pour le ballastage et pour le transport des rails, traverses, etc.

Les machines remorquant les trains de ballast employaient chacune 50 à 60 wagons.

Celles affectées au transport des autres matériaux employaient 8 ou 10 wagons.

Sur les parties les plus fréquentées, le nombre des trains ordinaires de voyageurs et de marchandises s'élevait dans les deux sens à 81 par 24 heures.

Cette grande circulation n'a jamais nécessité de modifications dans les méthodes indiquées ci-dessus.

Composition et outillage des ateliers de substitution. — Les ateliers de pose étaient en général composés de vingt-quatre hommes divisés en trois brigades chacune de huit hommes, dont un chef poseur et sept ouvriers.

Les chefs poseurs étaient d'anciens ouvriers exercés au travail de la pose; les autres ouvriers étaient de simples manœuvres ordinaires.

Le nombre des ateliers et même le nombre des brigades par atelier variaient journellement, le plus souvent par suite de l'insuffisance des matériaux. Quelquefois aussi les ouvriers faisaient défaut. Les travaux éprouvaient alors un certain ralentissement ou une suspension complète pendant quelques jours.

Les outils fournis par la compagnie à un atelier de vingt-quatre hommes sont indiqués dans le tableau suivant :

NOMS des outils.	NOMBRE D'OUTILS. 1re Brigade.	2e Brigade.	3e Brigade.	En commun.	Total.	Observations.
Pelles	8	8	8	»	24	
Pioches à bourrer	8	8	8	»	24	
Pioches montoises	»	3	3	»	6	(a)
Masse en fer	»	»	»	1	1	
Grosses pinces	»	4	4	»	8	
Pinces à pied de biche	»	»	4	»	4	
Leviers ou anspects	»	»	»	4	4	
Chasse-coins	»	»	4	»	4	
Clefs à fourches	»	»	4	»	4	(b)
Assortiment de cales pour joints	»	1	1	»	2	(c)
Thermomètre	»	»	»	1	1	
Gabarits d'écartement	»	»	2	»	2	
Règles de la longueur des rails	2	»	2	»	4	(d)
Niveaux à bulle d'air	»	»	2	»	2	(e)
Niveaux à fil à plomb	»	»	2	»	2	(f)
Grandes équerres	»	1	1	»	2	(g)
Doubles mètres divisés	»	»	»	2	2	
Jalons	»	»	»	6	6	
Jeux de nivelettes	»	»	2	»	2	(h)
Herminette	»	»	»	1	1	
Tarières	»	»	»	2	2	
Wagons-brouettes	»	»	»	2	2	

(a) Nécessaires seulement quand les pioches à bourrer étaient en bois.
(b) Pour les écrous d'éclisses.
(c) Chaque assortiment présentait trois épaisseurs variant de millimètre en millimètre, de 1 à 3.
(d) Divisées d'après les écartements de la pose.
(e) En fonte.
(f) En bois de 1m.60 de longueur au moins.
(g) De 1m.60 de branches.
(h) Ces jeux de nivelettes se composaient chacun de 2 nivelettes mobiles dans des étriers à vis de pression portés par 2 pieux ferrés, et 2 nivelettes à main.

NOTE N° 3

Sur le prix de revient de la substitution et classification des vieux matériaux.

Le décompte de la substitution se compose essentiellement :

1° De l'acquisition des matériaux neufs ;

2° De la main-d'œuvre, des transports et fournitures faites par l'économat (instruments, outils, coins) ;

3° Du renouvellement du ballast et des transports y relatifs.

De l'ensemble de ces dépenses, on a déduit la valeur des matériaux provenant des anciennes voies.

1° *Acquisition des matériaux neufs.*

	tonnes. fr.	fr.	
Rails français.	1 910.288 à 245.00 la tonne	468 020.56	
	4 698.508 à 251.58 la tonne	1 182 050.64	
	1 989.230 à 280.00 la tonne	556 984.40	
	4 331.072 à 261.35 la tonne	1 131 925.67	
	13 775.793 à 260.00 la tonne	3 581 706.18	
Rails anglais.	9 765.572 à 269.36 la tonne	2 630 454.47	
	11 888.524 à 277.62 la tonne	3 300 492.02	
Ensemble	44 358.987 au prix moyen de 265f.75 . . .	12 851 653.94	fr. 12 851 633.94
Coussinets.	1 400.154 à 195.00 la tonne	273 030.03	
	2 360.000 à 224.00 la tonne	528 640.00	
	7 983.610 à 215.00 la tonne	1 716 476.15	
Ensemble	11 743.764 au prix moyen de 214f.42 . . .	2 518 146.18	2 518 146.18
Éclisses.	1 315.520 à 397.50 la tonne	522 919.20	
	319.770 à 369.50 la tonne	118 155.01	
	431.520 à 375.00 la tonne	157 995.00	
Ensemble	2 056.610 au prix moyen de 389f.55 . . .	799 069.21	799 069.21
Boulons d'éclisses.	180.260 à 650.00 la tonne	117 169.00	
	194 226 à 630.00 la tonne	122 362.38	
Ensemble	374.486 au prix moyen de 639f.63	239 531.38	239 531.38
Boulons Pouillet.	4.469 à 700.00 la tonne	3 128.30	
	222.047 à 600.00 la tonne	133 228.20	
Ensemble	226.516 au prix moyen de 601f.97	136 356.50	136 356.50
Chevillettes.	663.138 à 411.50 la tonne	272 881.29	272 881.29
Crapauds.	158.430 à 500.00 la tonne	79 215.00	79 215.00
Traverses	617 008 traverses, au prix variable de 4f.30 à 7f.35 la pièce.		3 339 054.30
	Prix total des matériaux neufs.		20 235 887.80

2° *Main-d'œuvre, transports et fournitures de l'économat.*

Le relevé des comptes pour les dépenses de la substitution, pendant les années 1853, 1854, 1855 et 1856, a donné les résultats suivants :

	DÉPENSE DE L'EXERCICE				DÉPENSE totale.
	1853	1854	1855	1856	
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Surveillance et main-d'œuvre.	11 344.59	290 594.19	676 080.86	524 838.75	1 502 858.39
Transports faits en service par l'exploitation.	4 176.42	86 112.56	316 117.49	237 220.67	643 627.14
Fournitures faites par l'économat.	2 071.30	45 792.60	110 881.44	16 575.93	175 321.27
Total par exercice. .	17 592.31	422 499.35	1 103 079.79	778 635.35	2 321 806.80

3° *Renouvellement du ballast.*

		fr.	c.
Le relevé des comptes des entrepreneurs qui ont fourni du ballast pour les travaux de substitution, pendant les années 1854, 1855 et 1856, constatent, pour fournitures sur wagons de 319 400 mètres cubes de ballast, une dépense de.		583 540	00
Ce ballast a été transporté, en moyenne, à une distance de 30 kilomètres, et le service des travaux a payé à l'exploitation, pour ce transport, 1f.50 par mètre cube ; soit, pour les 319 400 mètr., une somme de		479 100	00
Les dépenses restant à faire après le renouvellement des voies, pour compléter le ballastage et le renouveler partout où il était de mauvaise qualité, ont été évaluées à environ.		838 223	40
Dépense totale pour le ballast. . .		1 900 863	40

CLASSIFICATION DES VIEUX MATÉRIAUX.

Il n'a été réemployé dans les nouvelles voies que 141,325 traverses (*) et 63 tonnes de chevillettes; les matériaux restés disponibles étaient, par suite, les suivants :

	tonnes.
Rails de 30 kilogrammes	39 000
Coussinets	13 220
Chevillettes	800
Traverses en chêne	575 345
Coins	1 430 000

Tous les matériaux ont été classés, comme il suit, par espèce et par choix, en leur appliquant les prix résultant de ventes faites immédiatement après leur démontage. On a ainsi déterminé, très-approximativement, la somme totale à porter au crédit de la substitution.

	tonnes.		fr.	fr.	fr.
Rails, 39 000t.	4 290	1er choix, à	250 la tonne	1 072 500	8 724 300
	16 770	2e choix, à	240 la tonne	4 024 800	
	10 920	3e choix, à	210 la tonne	2 293 200	
	7 020	4e choix, à	190 la tonne	1 333 800	
Coussinets, 13 220t.	7 700	1er choix, à	200 la tonne	1 540 000	2 478 400
	5 520	4e choix, à	170 la tonne	938 400	
Chevillettes, 800t.	56	1er choix, à	350 la tonne	19 600	225 600
	400	2e choix, à	300 la tonne	120 000	
	344	4e choix, à	250 la tonne	86 000	
Traverses, 573 345t.	10 000	1er choix,	5 fr. la pièce	50 000	994 958
	195 800	2e choix,	3 fr. la pièce	587 400	
	191 400	3e choix,	1f.50 la pièce	287 100	
	176 145	4e choix,	0f.40 la pièce	70 458	
Coins, 1 430 000t.	700 000	2e choix,	0f.04 la pièce	28 000	35 300
	730 000	4e choix,	0f.01 la pièce	7 300	
Valeur totale des vieux matériaux					12 458 558

(*) Il y a lieu de remarquer, toutefois, que l'entretien pendant neuf à dix ans et la pose d'une cinquième traverse par longueur de rail avaient introduit dans les voies un assez grand nombre de traverses neuves, de sorte que très-peu de traverses maintenues datent de l'origine.

Récapitulation.

	fr.
Acquisition des matériaux neufs.	20 235 887.80
Main-d'œuvre, transports, fournitures de l'économat.	2 321 806.80
Renouvellement du ballast et transports y relatifs. .	1 900 863.40
Dépense totale.	24 458 558.00
A déduire la valeur des vieux matériaux, ci. .	12 458 558.00
La substitution a donc, en définitive, coûté une somme de.	12 000 000.00

Soit environ 18 500 francs par kilomètre de simple voie.

La compagnie a vendu, au fur et à mesure des demandes qui lui ont été faites, tous les matériaux dont elle n'avait pas l'emploi sur les lignes concédées. Une grande partie des rails premier choix (rails ayant les deux champignons presque intacts) a été cédée au prix de 250 fr. la tonne, à diverses petites société ou compagnies, entre autres celle d'Épinac, pour l'établisssment de voies ou de raccordements peu importants. Le reste a été à peu près complétement employé dans les voies de garage.

Les rails de deuxième choix (rails ayant seulement un champignon en bon état) ont aussi été utilisés pour l'établissement des voies de garage dans les nouvelles stations. Il n'en reste guère aujourd'hui qu'un dixième de disponible; soit environ 15 à 1,600 tonnes.

Les rails de troisième choix (rails en mauvais état) ont été à peu près entièrement envoyés successivement pour l'exécution des terrassements sur les lignes de Tergnier à Reims, Saint-Quentin à Erquelines, Busigny à Somain, Saint-Denis à Creil, et enfin, en ce moment, sur les lignes de Soissons et des houillères du Pas-de-Calais.

Tous les rails de quatrième choix (rails hors de service, c'est-à-dire complétement détériorés) ont été vendus aux usines avec une partie du troisième choix devenue quatrième après avoir servi dans les voies de terrassement. L'ensemble des ventes faites en quatrième et troisième

choix s'élevait au 1er juillet 1859, à 11 000 tonnes, dont 5 000 au prix de 190 fr. la tonne et 6 000 au prix de 200 fr.

A mesure que les rails sortent détériorés des voies de terrassement, ils sont expédiés aux usines qui, les prennent aux prix courants du jour. La compagnie ne les vend plus, en ce moment, que 160 fr. la tonne.

Les 10 000 traverses de premier choix ont été mises en dépôt, sur divers points, pour être utilisées sur les anciennes lignes au fur et à mesure des besoins, soit comme simple entretien, soit comme consolidation.

Les traverses de deuxième choix (traverses en état passable) ont été employées dans les gares et stations. La construction des nouvelles lignes en a absorbé une très-grande quantité.

Les traverses de troisième choix (traverses en mauvais état) ont été livrées aux entrepreneurs de terrassements.

Les traverses de quatrième choix (traverses pourries) ont été vendues comme bois de chauffage, à raison de 0f.40 à 0f.50 la pièce, après avoir été amenées aux stations.

Enfin, les autres matériaux (coussinets, chevillettes et coins) provenant des anciennes voies de la ligne de Belgique, par Lille et par Valenciennes, ont été, les uns vendus avec les rails pour l'établissement de voies spéciales, les autres, ainsi que les rails et les traverses de même classification, employés dans les nouvelles voies de garage, ou livrés aux entrepreneurs de terrassements.

NOTE N° 4

Sur les prix de revient comparatifs d'un kilomètre de simple voie en rails à double champignon, ou en rails Vignole; les rails pesant, dans l'un et l'autre systèmes, 37 kilogrammes par mètre courant.

1° *Voie en rails à double champignon.*

DÉSIGNATION des matériaux.	Quantités.	Poids.	VALEUR de l'unité.	VALEUR totale.	Observations.
	m. c[t].	tonn.	fr.	fr.	(1) Le mille.
Rails	2000	74	239.00	17686.00	
Traverses	1166	»	6.20	7229.20	
Coussinets	2332	20.522	215.00	4412.23	
Chevillettes	4664	1.632	411.50	671.57	
Coins	2332	»	100.00 (1)	233.20	
Eclisses	332 paires	3.054	250.50	765.03	
Boulons	1328	0.568	440.00	249.92	
			Total.	31247.15	

2° *Voie en rails Vignole.*

DÉSIGNATION des matériaux.	Quantités.	Poids.	VALEUR de l'unité.	VALEUR totale.	Observations.
	m. c[t].	tonn.	fr.	fr.	
Rails	2000	74	239.00	17686.00	
Traverses	1666	»	6.20	7229.20	
Crampons	5333	1.600	390.00	624.00	
Éclisses	332 paires	3.091	250.50	774.30	1
Boulons	1328	0.568	440.00	249.92	
			Total.	26563.42	

(1) Les éclisses pour rails Vignole pèsent un peu plus que celles pour rails à double champignon.

Il résulte des calculs ci-dessus, qui ont été établis en prenant pour base les prix les plus récents, que la voie en rails Vignole coûte d'établissement par kilomètre de simple voie 4 683[f].73 moins cher que la voie en rails à double champignon.

NOTE N° 5

Sur les prix de revient comparatifs d'un kilomètre de simple voie en rails neufs, forme Vignole, de 37 kilogrammes par mètre, ou en vieux rails à double champignon, de 30 kilogrammes.

La compagnie du Nord avait décidé, en 1855, que les rails de premier choix retirés des voies principales, par suite de la substitution de la ligne de Paris en Belgique par Lille et par Valenciennes, seraient employés à l'établissement des voies de la ligne de Tergnier à Reims, dont l'importance paraissait relativement faible ; lorsque peu de temps avant la mise à exécution de cette décision, des propositions lui furent faites pour l'acquisition, au prix de 250 fr. la tonne, d'une grande quantité de ces vieux rails premier choix.

Ces propositions engagèrent la Compagnie à examiner la question de savoir si elle devait maintenir ses premières dispositions, ou s'il n'y avait pas pour elle avantage à céder ses vieux rails et à employer des rails neufs de forme Vignole, qu'elle ne pouvait cependant obtenir, à cette époque, qu'à raison de 290 francs la tonne.

Les tableaux ci-après, établissant le prix de revient des deux sortes de voies, démontrent que la Compagnie du Nord avait tout intérêt à adopter la dernière combinaison,

Voie en rails Vignole de 37 kilogrammes par mètre courant.

DÉSIGNATION des matériaux.	Quantités.	Poids.	VALEUR de l'unité.	VALEUR totale.	Observations.
	m. c^t.	tonn.	fr.	fr.	
Rails	2000	74	290.00	21 460.00	
Traverses	1166	»	6.20	7 229.20	(a)
Crampons	5333	1.600	500.00	800.00	(b)
Eclisses	332 paires	3.091	347.00	1 072.77	
Boulons	1328	0.567	580.00	328.89	(c)
		Total		30 890.86	

(a) 7 traverses par longueur de rail.
(b) 32 crampons par 6 mètres de simple voie.
(c) 4 boulons par paire d'eclisses ou par joint.

Voie en vieux rails à double champignon, de 30 kilogrammes par mètre courant.

DÉSIGNATION des matériaux.	Quantités.	Poids.	VALEUR de l'unité.	VALEUR totale.	Observations.
	m. c^t.	tonn.	fr.	fr.	
Rails	2000	60	250.00	15 000.00	(a)
Traverses	1332	»	6.20	8 258.40	(b)
Coussinets	444	5.330	260.00	1 385.80	(c)
	2220	19.536	215.00	4 200.24	(d)
Chevillettes	5776	2.022	411.50	832.05	
Coins	2220	»	0.10	222.00	
Eclisses	444	2.087	347.00	724.19	
Boulons	1776	0.758	580.00	439.64	(e)
			Total	31 062.32	

(a) Prix que la compagnie pouvait obtenir de ses vieux rails, 1er choix, ainsi qu'il a été dit plus haut.
(b) 6 traverses, dont 5 intermédiaires par longueur de rail de 4^m.50.
(c) Coussinets spéciaux pour les joints.
(d) Coussinets intermédiaires.
(e) Une seule éclisse par joint, la mâchoire unique du coussinet formant éclisse à l'intérieur de la voie.

Par la comparaison des détails contenus dans les deux tableaux qui précèdent on voit que :

1° Sur les rails, il y avait un avantage de 6,460 fr. pour les voies en 30 kilogrammes, ce qui résultait naturellement du moindre poids des rails et du prix auquel ils étaient cotés ;

2° Pour les traverses, au contraire, il y avait une différence en sens inverse de près de 1,000 fr. ; cela tenait à ce que le rail étant moins fort, il lui fallait un plus grand nombre de points d'appui. Ainsi, un rail de 4^m.50 en 30 kilogrammes eût exigé six traverses ayant un écartement moyen de 0^m.75, tandis que le rail de 6 mètres en 37 kilogrammes ne demandait que sept traverses espacées en moyenne de 0^m.86 ; et pourtant le rail de 30 kilogrammes eût encore été dans des conditions de résistance de beaucoup inférieure à l'autre ;

3° Pour les coussinets, la différence était de près de

5,600 fr. à l'avantage des voies Vignole, qui n'en emploient pas;

4° Enfin, pour le reste, les différences étaient peu importantes, et en somme il y a presque exactement compensation.

En résumé, l'établissement de voies principales en vieux rails de 30 kilogrammes, premier choix, eût coûté, par kilomètre de simple voie, 171f.46 plus cher que la voie en rails neufs Vignole, de 37 kilogrammes, et eût été incontestablement plus faible que cette dernière.

Note n° 6

Sur les avantages que présente le rail à large base dit Vignole.

Dans un intéressant travail publié en 1855, M. Couche, ingénieur en chef des mines, a discuté d'une manière complète les avantages et les inconvénients des différents types de rails.

En ne considérant d'abord que la question restreinte de la valeur relative des deux formes à double champignon symétrique et non symétrique, M. Couche constate que la préférence généralement donnée à la première est fondée. D'une part, elle est favorable à la résistance; de l'autre, il semble incontestable que le métal doit aussi bien être utilisé, au point de vue de l'usure, si ce n'est mieux, avec deux surfaces de roulement qu'avec une seule (*).

M. Couche dit que le rail à large base, qui repose direc-

(*) En 1845, dans son ouvrage sur les chemins de fer allemands, M. Le Chatelier, ingénieur en chef des mines, avait appelé l'attention des ingénieurs sur les rails américains dits Vignole. En 1851, dans un mémoire sur les chemins anglais, M. Le Chatelier signalait de nouveau cette forme de rails, et indiquait les avantages qu'elle présentait, en exprimant l'opinion que l'avenir pourrait lui être favorable.

tement sur la traverse, présente une économie d'établissement considérable, une résistance à la rupture au moins égale ou plus grande à coup sûr, suivant qu'on prend pour terme de comparaison le rail symétrique ou le rail à champignons inégaux, une sécurité plus complète et une stabilité pratique équivalente à celle des rails à coussinets.

Suivant M. Couche, un point reste seul sur lequel on ne puisse se prononcer avec certitude : la durée du service.

« Le champignon du rail à large base, dit M. Couche,
» devant naturellement être identique avec ceux du rail
» symétrique de même poids, on peut soutenir, non sans
» apparence de raison, que le second fera un service plus
» prolongé que le premier, puisque celui-ci devra être rem-
» placé quand il suffira de retourner l'autre. »

Nous pensons qu'on a trop souvent compté sur l'avantage du retournement, et qu'en réalité il a bien peu de valeur aussitôt qu'il s'agit de rails ayant un service de quelques années. Le retournement peut présenter quelque intérêt pour les rails neufs qui, par suite d'un incident quelconque, ont subi quelques détériorations sur une de leurs faces : mais la proportion des rails qui se trouvent dans ce cas est bien faible, actuellement surtout que l'on n'est plus réduit à établir les terrassements avec les rails qui doivent servir plus tard à l'exploitation.

Si maintenant on compare les prix d'établissement des deux systèmes de voies, on arrive aux résultats suivants :

Il y a dans la voie à double champignon sept coussinets par rail de 6 mètres ; un coussinet correspond donc à une longueur de rail de $\frac{6}{7} = 0^{m}.86$, pesant 31 kilogrammes.

Le prix demandé à la Compagnie du chemin de fer du Nord, pour l'échange des rails hors de service contre des rails neufs, est de 85 fr. la tonne.

La réfection de la longueur de rail correspondante à un coussinet revient par suite à $2^{f}.70$.

Or, la suppression du coussinet et du coin produit une économie qu'on peut, en moyenne, estimer à 2f.40. Cette somme représente une annuité de 0f.12 qui, placée à intérêts composés, reproduit tous les quinze ou seize ans les 2f.70 ci-dessus.

Ainsi, pour que l'économie du coussinet représente le remplacement du rail à perpétuité, ce qui est bien mieux qu'indemniser de la suppression du retournement, il suffit que la durée moyenne du rail dépasse seize ans.

Les résultats obtenus par la Compagnie du chemin de fer du Nord, depuis l'application de ses nouveaux cahiers des charges relatifs à la fabrication des rails, semblent garantir une durée plus considérable.

Ce calcul, que nous devons à l'obligeante communication de M. l'ingénieur en chef des travaux et de la surveillance du chemin de fer du Nord, ne tient compte d'ailleurs ni du renouvellement du coussinet, ni de celui du coin, ni des mains-d'œuvre perpétuelles auxquelles ce dernier donne lieu sans qu'on puisse jamais compter sur un serrage régulier.

La question d'économie n'est donc pas douteuse en faveur du rail Vignole ; il présente, outre les avantages indiqués ci-dessus, celui de concilier l'éclissage ordinaire et la pose d'une traverse sous le joint ; il assure l'amélioration de l'entretien par la suppression du coin, si impressionnable à toutes les variations atmosphériques ; il permet enfin d'arrêter plus facilement la marche de la voie dans le sens des trains (*).

(*) Depuis l'envoi de ce rapport, les mouvements de translation de rails qui se sont manifestés dans les voies Vignole établies sur la ligne du Nord, ont été assez considérables. Ces mouvements s'expliquent facilement : on a négligé de ménager dans le patin des rails les encoches destinées à recevoir les coins ou crampons qui doivent fixer le rail aux traverses. Cette omission se répare actuellement et, sans doute, les mouvements de translation seront arrêtés.

Lorsque M. l'ingénieur en chef Couche a publié son travail, le rail à large base était peu appliqué en France ; le chemin de Saint-Germain avait seulement fait un essai qui n'avait pas produit de résultats bien concluants. Depuis, la compagnie du Nord l'a employé sur une grande échelle ; les résultats ont constaté combien M. Couche et M. Le Chatelier étaient dans le vrai lorsqu'ils préconisaient cette forme dite Vignole.

NOTE Nº 7.

Sur le prix des matériaux de voie qui ont été livrés à la compagnie du Nord, depuis l'année 1854 *jusqu'au* 1er *juillet* 1859.

DÉSIGNATION des matériaux.	ÉPOQUES AUXQUELLES LES MARCHÉS ONT ÉTÉ PASSÉS									Observations.
	1854		1855	1856	1857		1858		1859	
	1er semestre	2e semestre	1er semestre	1er semestre	1er semestre	2e semestre	1er semestre	2e semestre	1er semestre	
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.	
Rails français.	260.00	»	284.50	»	290.00	275.00	»	239.00	»	
— anglais..	»	272.00	»	»	»	»	»	»	»	(a)
— belges..	»	»	»	302.00	»	»	»	»	»	
Coussinets...	215.00	215.00	»	»	»	»	»	»	»	
Chevillettes...	411.50	411.50	»	»	»	»	»	»	»	
Eclisses....	»	»	369.50	347.00	»	»	297.60	269.00	250.50	
Boulons...	»	»	630.00	580.00	»	»	449.00	469.00	440.00	
Crampons...	»	»	500.00	500.00	»	»	427.20	390.00	»	
Tire-fond...	»	»	»	»	»	»	»	»	470.00 449.00	(b)

(a) Les prix indiqués pour les rails anglais et belges comprennent un droit exceptionnel d'entrée de 60 fr. par tonne, plus le double décime, soit 12 fr.
(b) Ces tire-fond sont destinés à remplacer les crampons dans les voies en rails Vignole.

On voit, par l'examen de ce tableau :

Que les rails fournis en 1854 à la compagnie du Nord, à raison de 260 francs la tonne, ne sont plus payés, en 1858, que 239 francs, après avoir atteint toutefois le prix de 290 francs dans le premier semestre de 1857 ;

Que les éclisses sont maintenant obtenues à raison de 250 francs 50 centimes la tonne, au lieu de 369 francs

50 centimes payés en 1855, soit une diminution de 119 francs par tonne;

Que le prix des boulons est descendu de 630 francs à 440 francs;

Que celui des crampons n'est plus que de 390 francs au lieu de 500 francs;

Enfin, que les deux fournitures de tire-fond faites dans le premier semestre de 1859, constatent également une tendance à la baisse.

Ces différences notables dans les prix des petites ferrures sont particulièrement dues aux améliorations apportées successivement par les fournisseurs dans les moyens de fabrication.

La quantité d'éclisses nécessaires à la pose d'un kilomètre de simple voie du système Vignole étant égale à 3t.091, celle des boulons étant de 0t.568, et celle des crampons de 1t.600, l'emploi de ces ferrures procure aujourd'hui à la compagnie du Nord, par kilomètre de simple voie, une économie de 651 francs 74 centimes sur le prix de revient d'une voie semblable posée en 1855.

NOTE N° 8

Sur les charges des entreprises de fournitures de rails et sur les conditions de fabrication.

Nous reproduisons ici le résumé des charges et des conditions de fabrication récemment imposées par la compagnie du Nord à ses fournisseurs de rails américains dits Vignole.

Gabarit des rails. — Les rails doivent présenter la forme exacte du *gabarit* poinçonné qui est remis au fabricant. Le profil est rigoureusement conservé sur toute la longueur des barres et notamment aux extrémités qui ne doivent

être ni comprimées ni altérées lors du coupage. La fabrication n'est entreprise qu'après que les cylindres ont été reconnus convenables, et le fabricant est responsable des retards qui proviendraient du refus des spécimens de rails. Tout rail qui, même après l'acceptation des cylindres, ne reproduirait pas exactement les formes du garabit, est rebuté. La compagnie a toujours le droit de changer le gabarit, en tenant compte aux fournisseurs des dépenses spéciales résultant de ce changement.

Poids des rails. — Le poids des rails résulte du *gabarit* donné aux fabricants; il est constaté sur les rails de la première fabrication de section rigoureusement exacte. Dans les réceptions partielles il est accordé une tolérance de 2 pour 100 en plus ou en moins, pourvu que la fourniture totale ne s'écarte pas du poids normal de plus de 1 pour 100.

Dans cette limite et au-dessous, les rails sont payés d'après leur poids réel; au-dessus l'excédant de poids n'est pas payé au fournisseur.

Les rails en dehors de ces limites peuvent être rebutés.

Longueur des barres. — La longueur généralement admise par la Compagnie du Nord est de 6 mètres; une partie ne dépassant pas un dixième doit être coupée à la longueur de 5m.96. Afin de faciliter la fabrication, une barre sur vingt peut n'avoir que, soit 5m.10, soit 4m.20; ces barres du reste doivent provenir uniquement de celles fabriquées pour les longueurs normales, et qui auraient dû être rejetées par suite de défaut à leurs extrémités.

La compagnie peut commander un certain nombre de rails de longueur exceptionnelle; toutefois ce nombre ne doit pas dépasser 1 pour 100 de la fourniture, et la longueur ne peut excéder 10 mètres. Ces rails sont payés 4 pour 100 plus cher.

La tolérance sur les longueurs n'excède jamais un millimètre et demi, en plus ou en moins.

Marques de fabrique. — Les rails portent des marques en relief désignant à la fois l'usine, l'année et le mois de la fabrication. Ces marques résultent d'une gravure faite dans la cannelure finisseuse du cylindre.

Qualité des fers. — Les rails doivent être en fer dur et compacte, bien soudé, non cassant à froid, à grain fin, particulièrement dans les champignons, enfin de qualité convenable pour résister à l'action des roues.

Conditions de fabrication. — La fabrication doit être conduite en vue de n'avoir autant que possible que du fer à grain fin.

Les fers puddlés destinés à la fabrication des rails sont d'ailleurs exactement classés par nature et en trois catégories distinctes, savoir :

1° Les fers à grain ;

2° Les fers métis ou à grain mêlé de nerf;

3° Les fers à nerf.

Il n'entre dans les paquets pour *corroyés* que des fers de la première catégorie.

Les paquets pour *rails* doivent autant que possible être composés de fer à grain fin. Dans tous les cas, le fer à nerf n'est admis que dans le dernier tiers du paquet; entre lui et les deux premières mises en fer à grain sous le corroyé, on admet le fer métis.

Les barres formant les différentes mises sont de section rectangulaire ; chaque mise de fer puddlé se compose, en largeur, de deux ou trois pièces au plus.

La mise en fer corroyé formant la partie supérieure du paquet est d'une seule pièce; elle représente en poids le cinquième environ de la masse totale, de façon à présenter sur la section du rail fini, dans les surfaces de roulement, une épaisseur d'au moins $0^m.01$.

Les bouts écrus des barres formant le paquet sont affranchis. Ces barres doivent toutes être d'une seule pièce, bien dressées par toute la longueur du paquet.

Cependant, pour le fer puddlé, on tolère quelques barres en deux pièces au plus, dont la plus petite ne doit pas avoir moins de 0m.30 de longueur ; mais alors elles sont assemblées avec soin bout à bout, de manière à ne laisser dans l'intérieur du paquet que le moins de vide possible. Les joints des mises doivent être contrariés.

Les dimensions et la composition des paquets, ainsi que les dessins des cannelures successives par lesquelles ces paquets doivent passer, sont soumis à l'approbation de l'ingénieur en chef de la Compagnie, sans que la responsabilité du fabricant en soit diminuée.

Le laminage doit être aussi parfait que possible.

Dressage des rails et coupe des bouts. — Les rails sont dressés sur les quatre faces autant que possible à chaud, à la sortie des cylindres. S'il y a lieu d'opérer à froid, l'opération doit être exécutée sans percussion, au moyen de vis de serrage, par pression graduée.

Les surfaces doivent être nettes et unies.

Les rails sont coupés aux deux bouts par un moyen mécanique agréé par l'ingénieur en chef de la Compagnie.

Les bavures sont enlevées à la lime ou au ciseau.

Les plans des sections doivent être d'équerre sur l'axe des rails. On ne peut, dans aucun cas, les parer au marteau.

Il est interdit de réchauffer aucune partie des rails après le laminage, hors le cas de dérangement momentané de la machine à couper les bouts, et pendant le temps strictement nécessaire pour la remettre en service.

Toute réparation de criques, pailles, etc., est interdite.

Perçage des trous et entailles dans la patte. — Chaque extrémité des rails est percée, dans l'axe, de deux trous; il est en outre pratiqué dans la patte des rails et à chaque extrémité deux petites entailles. Les dimensions et les tracés de ces trous et entailles sont remis au fournisseur.

Vérification, épreuves. — Les rails sont classés dans l'usine en séries provenant de la fabrication d'un ou de plusieurs jours. Les agents préposés à la réception choisissent dans chaque série un certain nombre de barres (1 pour 100 an plus), pour les soumettre aux épreuves suivantes :

Première épreuve. — Chacun de ces rails, placé de champ sur deux points d'appui espacés de 1m.10, doit supporter pendant cinq minutes au milieu de l'intervalle des points d'appui, une pression de 12 000 kilogrammes, sans conserver de flèche sensible après l'épreuve.

Deuxième épreuve. — La même barre, dans la même position, doit supporter pendant cinq minutes, sans se rompre, une charge de 30 000 kilogrammes; on peut ensuite augmenter la pression jusqu'à la rupture.

Troisième épreuve. — Chacune des moitiés de barre cassée, placée de champ sur deux supports espacés de 1m.10, devra supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kilogrammes, tombant de 2 mètres de hauteur sur la barre au milieu de l'intervalle des points d'appui.

Dans ce dernier cas, les deux supports doivent être en fonte et reposer, par l'intermédiaire d'un châssis en bois de chêne, sur un massif de maçonnerie d'un mètre d'épaisseur au moins, établi sur un terrain solide.

Si l'une des barres ne résiste pas aux épreuves, on doit les continuer sur un plus grand nombre de barres, et si plus du dixième des barres essayées ne résiste pas, la série entière dont ces rails proviennent est rebutée.

Réception provisoire. — La réception provisoire est faite à l'usine par un ou plusieurs agents de la Compagnie ; elle a lieu au fur et à mesure de la fabrication. Les barres reçues sont poinçonnées; les barres rebutées sont cassées ou marquées d'un signe visible.

Les appareils nécessaires aux épreuves et à la réception sont établis aux frais de l'usine. Les mains-d'œuvre relatives à ces opérations sont supportées par le fabricant.

Les procès-verbaux de réception sont dressés chaque jour et régularisés à la fin de chaque mois.

Propriété des rails après la réception provisoire. — Les rails poinçonnés et compris dans les procès-verbaux appartiennent à la Compagnie.

Délai de garantie. — La Compagnie du Nord ne reçoit que des rails ayant fait ou pouvant faire un service de deux ans, sans aucune détérioration, sur les parties de voies principales de son réseau comprises entre Saint-Denis, Douai et Saint-Quentin; elle s'assure par une expérience partielle si cette condition est remplie.

Le fournisseur s'engage, en conséquence, à subir sur le prix stipulé au marché, et pour l'ensemble de la fourniture, une réduction proportionnée au nombre de rails qui ne résisteraient pas à l'expérience faite dans les conditions suivantes :

Dix pour cent au moins de la fourniture pris à divers moments de la fabrication, au choix de la Compagnie, sont placés par elle sur la partie du réseau indiqué ci-dessus.

Il est immédiatement donné avis au fournisseur de l'emplacement et de la date de la pose.

A l'expiration des deux années de service, on établit contradictoirement la proportion des rails avariés, c'est-à-dire ayant un commencement de détérioration comme écrasement, défaut de soudure, exfoliation, rupture, etc. Cette proportion s'applique à l'ensemble de la fourniture et sert à déterminer la quantité de tonnes passibles de l'indemnité ; que tout ou partie seulement de la fourniture ait été mis en service.

Le taux de l'indemnité est fixé de manière à représenter la différence de valeur entre une tonne de rails neufs et une tonne de rails hors de service. Les rails auxquels l'indemnité se rapporte restent d'ailleurs la propriété de la Compagnie.

La Compagnie peut commencer son essai quand bon lui semble; toutefois, le règlement de l'indemnité doit avoir lieu, au plus tard, trois ans après l'époque moyenne des livraisons faites à l'usine.

Réception définitive. — La responsabilité du fournisseur ne cesse que par la réception définitive, précédée de la reconnaissance contradictoire indiquée ci-dessus.

Cette reconnaissance doit être provoquée par le fournisseur.

Surveillance à l'atelier du fournisseur. — Le fournisseur doit donner la libre entrée de ses ateliers à l'ingénieur de la Compagnie et à ses agents.

Responsabilité du fournisseur. — La surveillance exercée par la Compagnie ne diminue pas la responsabilité du fournisseur.

Interdiction de céder. — Il est interdit aux fournisseurs de céder à un autre fournisseur ou de faire fabriquer dans une usine autre que la sienne, une portion quelconque de la fourniture, à moins du consentement exprès de la Compagnie.

Les derniers marchés passés aux conditions sus-indiquées portent le prix des rails à 239 francs la tonne. — Le taux de l'indemnité représentant la différence de valeur entre une tonne de rails neufs et une tonne de rails hors de service est fixé à 90 francs.

La retenue en cas de retard sur les fournitures doit être de 10 francs par tonne et par mois de retard; cette retenue est acquise à la Compagnie par la seule échéance du terme.

Nous devons, avant de terminer cette note, signaler d'une manière toute spéciale dans les conditions qui précèdent, celles qui sont relatives à la fabrication des rails et à leur expérimentation en service.

Déjà la Compagnie a pu constater l'influence que ces stipulations ont eue sur la qualité des rails.

Deux des principales usines qui ont fourni des rails

employés lors du renouvellement des voies avaient accepté ces conditions.

L'une a convenablement rempli les clauses du cahier des charges, l'autre ne s'y est que très-imparfaitement soumise.

La fourniture de la première usine a donné lieu, après un service effectif de trois ans, sur la ligne principale, à des rebuts de moins de 2 p. 100; la seconde a supporté des rebuts de plus de 10 p. 100.

Il semble difficile que des différences aussi considérables entre la qualité des rails puissent se produire aujourd'hui. La surveillance de la fabrication est en effet organisée d'une manière complétement satisfaisante, et la Compagnie n'est plus, ainsi que cela a eu lieu il y a quelques années, forcée de prendre livraison de fournitures défectueuses. On peut donc espérer que la moyenne des déchets ne dépassera pas 5 ou 6 p. 100 en deux ans.

Gabarit des rails. — Trois types de rails ont été successivement adoptés par la Compagnie du Nord, depuis qu'il a été reconnu que les rails de 30 kilogrammes par mètre courant n'offraient pas une résistance suffisante.

Premier type. — Modèle de Rouen, à double champignon symétrique, de $4^{m}.50$ et $5^{m}.00$ de longueur, pesant 37 kilogrammes par mètre courant, employé en 1848, 1849 et 1850 à l'établissement des lignes du littoral et de Creil à Saint-Quentin. On reproche à ce rail une surface de roulement trop plate, des champignons trop maigres et une tige trop forte.

Deuxième type. — Gabarit étudié par la Compagnie du Nord, pour la substitution de la ligne de Paris en Belgique, par Lille et par Valenciennes, et l'établissement de la ligne de Saint-Quentin à Erquelines. Ce rail est, comme le précédent, à champignons symétriques; il pèse également 37 kil. par mètre; mais sa longueur est portée à 6 mètres dans le but de réduire le nombre des joints. On lui donne

un bombement très-prononcé pour que le roulement ait toujours lieu le plus près possible de l'axe du rail. La largeur des champignons est diminuée au profit de leur épaisseur; on réduit également pour le même objet la force de la tige.

L'expérience démontre que le bombement a été exagéré; que le roulement n'a lieu que sur un seul point, et qu'il en résulte un écrasement par suite de la charge répartie sur une trop petite surface.

Troisième type. — Forme Vignole. — La Compagnie s'attache à éviter les inconvénients du type précédent : le bombement est diminué et le champignon rendu plus fort. Le moment d'inertie, dans la section, reste le même, ainsi que la longueur et le poids des barres.

Dans les deux derniers types de rails, la forme des champignons et de la patte a été déterminée en vue d'un bon éclissage.

NOTE N° 9

Sur l'organisation du service de surveillance de la fabrication dans les usines, et sur les instructions données aux agents.

Les marchés passés entre la Compagnie du chemin de fer du Nord et les maîtres de forges fournisseurs de rails, autorisent les agents de la Compagnie chargés des réceptions à rester aux usines tout le temps de la fabrication, à y exercer de jour et de nuit une surveillance minutieuse, et à y faire toutes les vérifications nécessaires pour constater que le mode de fabrication prescrit au cahier des charges est exactement suivi.

Les rapports de première fabrication que ces agents sont tenus d'adresser au bureau central portent sur la forme et la composition des paquets, le laminage, le dressage et tous les autres détails spéciaux à la confection des rails :

ils doivent indiquer sommairement la marche de l'usine; quelles sont la nature et la provenance des fontes employées; quels en sont les qualités et les défauts; quelle apparence de grain, de couleur en présente la cassure; dans quelles proportions on les mêle ensemble; comment et avec quelle nature de combustible se conduit le puddlage; quelles sont les dispositions générales et les dimensions des fours à puddler, des fours à réchauffer; quelle cassure affectent les fers puddlés et corroyés qui entrent dans la composition des paquets; s'ils sont ductiles, cassants, à facette, à grain ou à nerf, et toutes autres indications qui peuvent faire préjuger à l'avance des qualités des fers fournis.

L'agent doit, dès son arrivée à l'usine, prendre le dessin exact des cannelures des cylindres dégrossisseurs et finisseurs; il doit indiquer, dans une note à l'appui, les dimensions de chaque cylindre, leur vitesse de marche, et signaler avec précision comment les cannelures sont graduées, de manière à permettre de juger si, pour faciliter le laminage, on ne soumet pas le fer à des actions qui pourraient nuire à la compression des champignons du rail.

Ces pièces sont adressées à l'ingénieur du service central.

La fabrication n'est autorisée que lorsque le profil des rails obtenus est mathématiquement conforme au gabarit poinçonné fourni par la compagnie. L'agent vérifie du reste le profil des rails obtenus, à mesure du progrès de la fabrication; il indique dans ses rapports si les rails sont laminés habituellement en une seule chaude, ou si on les réchauffe après l'étirage.

Les instructions de l'agent lui prescrivent de suivre et d'étudier le mode de coupage à froid; de lever un croquis côté de la machine employée, propre à donner une idée sommaire et exacte de sa marche et de son action; de ren-

dre compte à son point de vue personnel des avantages et des inconvénieuts qu'il croit y reconnaître; de sorte qu'on puisse juger du plus ou moins de valeur de la méthode et arrêter à temps son emploi, si cela est reconnu nécessaire.

L'agent procède à la reconnaissance des mises dans le rail, en mouillant d'un acide la section extrême des rails, après complet ajustage.

Cet acide, agissant différemment sur les deux espèces de fer employées met à nu les stries de séparation des mises, et il devient facile d'apprécier ainsi l'épaisseur, après le laminage, de la mise superficielle sur laquelle doit s'opérer le roulement. Un dessin de grandeur d'exécution, donnant exactement l'aspect de la section ainsi traitée, est de temps en temps envoyé à l'ingénieur du service central.

En même temps qu'il procède à la surveillance de la fabrication, l'agent doit noter tous les renseignements propres à donner une idée, en ce qui concerne la main-d'œuvre, du prix de revient de chaque pièce, sans omettre de faire eutrer dans le calcul la dépense occasionnée au fabricant par les manutentions assez considérables qu'exigent les différentes phases de la réception.

En ce qui concerne les épreuves prescrites par le cahier des charges, épreuves qui doivent précéder l'examen de chaque rail sous le rapport de la forme et des apparences extérieures, l'agent reçoit des instructions très-détaillées; il doit avant tout emploi de l'appareil installé à l'usine pour l'épreuve de pression, en adresser le dessin à l'ingénieur du service central.

Ce dessin levé et coté avec soin dans tous ses détails, est accompagné de notes indiquant avec exactitude la nature et le poids de toutes les pièces d'action et de transmission.

Sur le vu de ce dessin, l'ingénieur du service central indique à l'agent la marche qu'il doit suivre, les précautions qu'il doit prendre, et, s'il y a lieu, les modifications que le directeur de l'usine doit faire subir à l'appareil.

Les résultats de l'épreuve de pression doivent être inscrits dans les colonnes d'un tableau disposé à cet effet.

Dans la colonne d'observations, l'agent note avec soin la forme et la position de la cassure ; il dit, s'il y a lieu, en combien de morceaux la pièce s'est brisée ; quel est le grain du fer dans les champignons et dans l'âme du rail ; si la cassure indique un défaut de soudure entre les diverses mises, etc.

Toutes les indications de l'épreuve au choc sont notées avec attention sur un tableau à joindre par l'agent à son procès-verbal de réception et à son rapport de fabrication.

Un croquis coté de l'appareil, accompagné d'observations détaillées, est adressé à l'ingénieur.

Les essais faits sous la surveillance de l'agent doivent surtout être pratiqués sur des rails choisis généralement parmi ceux qui présentent des défauts extérieurs les exposant à un rebut certain, sans rien faire préjuger cependant de la qualité du fer en lui-même.

A chaque épreuve, les agents de réception doivent mettre de côté quelques morceaux de rails qu'ils étiquettent avec leurs numéros d'ordre du tableau d'expérience ; ces morceaux, conservés à l'abri de l'oxydation, sont, s'il y a lieu, envoyés à l'ingénieur du service central.

Les agents doivent examiner avec soin les qualités extérieures du fer, afin : 1° de vérifier le profil du rail, sa longueur, le dressage et l'ajustage des bouts, en d'autres termes, les formes ; 2° de chercher les défauts apparents ou cachés, les criques, pailles, solutions de continuité, défauts de soudure, enfin tout ce qui touche à la qualité de chaque pièce en particulier ; 3° de constater les poids.

La vérification du profil doit, d'après les instructions, se faire à l'aide d'une équerre et d'un profil de rail en creux, ou même d'un coussinet bien ajusté.

La vérification s'effectue d'abord aux extrémités, et l'on constate en même temps comment a été fait l'ajustage des

bouts; si le profil n'a pas été amaigri; si la surface tranchée est bien plane et tout à fait d'équerre; si les angles ont été convenablement conservés. On vérifie de même le profil dans le corps du rail.

Les défauts qui tiennent à un dressage mal exécuté s'aperçoivent aisément en plaçant le rail sur la table de réception et en dirigeant un rayon visuel d'une extrémité à l'autre.

Pour vérifier la longueur d'un rail, l'agent est muni d'une tige en fer portant à l'un de ses bouts un talon parfaitement assujetti d'équerre. Cette tige est exactement de de la longueur maxima prescrite par le marché, augmentée de l'épaisseur du talon; elle porte sur sa face supérieure deux ou plusieurs traits gravés profondément, de manière à indiquer, à partir de la face intérieure du talon, les longueurs tolérées.

Le rail étant couché sur la table de réception parfaitement plane, l'agent place sa tige étalon au contact de la barre sur toute son étendue, de manière que le talon bute complétement contre l'une des extrémités; et il apprécie, au millimètre, la distance de l'autre extrémité aux traits de longueur dont il vient d'être parlé. Si la différence en plus ou en moins dépasse un millimètre et demi, la barre est renvoyée à la machine à couper, puis vérifiée de nouveau.

Le rail ainsi mesuré est retourné successivement sur toutes les faces, afin de voir s'il ne présente pas de criques, pailles ou défauts de soudure; l'agent s'assure en même temps si le rail porte une marque de fabrique bien nette et bien visible.

L'attention des agents est appelée sur les réparations des criques ou des pailles qui s'effectuent quelquefois avant la réception.

On fait disparaître les solutions de continuité en y introduisant de la cire avec de l'ardoise pilée, ou du soufre

avec de la limaille de fonte; quelquefois aussi un tenon à froid ou des grains de fer à chaud. Il est dit dans les instructions que tout rail ainsi réparé devra être rebuté par ce seul fait.

Les agents doivent, avant la réception, faire placer les rails en lieu sec, afin que la couleur du rail restant plus franche, il soit plus facile d'en reconnaître les défauts.

En ce qui concerne la soudure, l'agent doit, armé d'un petit marteau, frapper les champignons en différents points de leur longueur, et reconnaître si le rail ne sonne pas creux. S'il remarque une ligne bien prononcée indiquant nettement la séparation du fer corroyé, il doit rechercher, à l'aide du burin, le plus ou moins de profondeur de cette ligne de séparation.

L'agent constate, dans un tableau à joindre au procès-verbal de réception, le nombre de rails rebutés; il indique pour chaque série quels sont les défauts qui ont plus généralement motivé ces rebuts, et veille à ce qu'on mette de côté les rails rejetés, préalablement marqués d'une manière très-visible, de telle sorte qu'ils ne puissent être représentés à la réception sans qu'il en soit averti.

Les rails reconnus acceptables, comme forme et comme qualité, sont posés sur une balance et pesés par quatre ou cinq; les poids obtenus sont immédiatement inscrits à l'encre sur un carnet qui est signé pour acceptation, après chaque réception, par le chef de l'établissement ou son représentant.

Après chaque pesage, les rails sont marqués, aux deux bouts, du poinçon de la compagnie; puis ils sont empilés avec soin, en séparant les longueurs différentes.

Avant de s'occuper des réceptions ordinaires, l'agent constate le poids normal des rails résultant de la première fabrication, et pour cela il en choisit dix parfaitement ajustés, de longueur exacte et uniforme, et reproduisant exactement le gabarit; puis il les pèse un à un. Le poids

moyen de ces rails sert de type pour les réceptions ultérieures.

Chaque jour l'agent de la compagnie rapporte, sur un procès-verbal ouvert au premier jour de la réception, les chiffres des pesées inscrits sur son carnet et acceptés au fur et à mesure par le fournisseur. A la fin de la réception, soit que la fabrication soit momentanément arrêtée, soit que d'autres visites exigent pour quelques jours le déplacement de l'agent, ce procès-verbal est clos en triple expédition, signé par l'agent et par le fournisseur, puis adressé à l'ingénieur du service central, accompagné des tableaux d'épreuves et d'un rapport circonstancié. Ce rapport donne, ainsi qu'il a été dit plus haut, tous les renseignements désirables sur le mode de fabrication employé; sur la forme et la marche des cylindres, des machines à couper, des appareils d'épreuve, sur les circonstances diverses qui ont accompagné les expériences et la réception; il contient également les données propres à établir le prix de revient de chaque rail.

Les agents de la compagnie doivent du reste dans leurs relations avec les employés et ouvriers de l'établissement, garder une grande réserve et n'adresser leurs observations qu'au représentant du fournisseur.

Les difficultés qui peuvent survenir au sujet de la fabrication sont immédiatement soumises à l'ingénieur du service central.

Telles sont, en résumé, les instructions données aux agents chargés par la compagnie du chemin de fer du Nord de surveiller dans les usines la fabrication des rails et de procéder à leur réception.

Ces instructions sont ponctuellement suivies, et la surveillance se trouve de la sorte aussi complète que possible.

NOTE N° 10

Sur la cémentation des pointes de croisements de voies.

Lorsque les pointes ont été forgées selon l'angle des croisements auxquels elles sont destinées, elles sont envoyées à la cémentation et à la trempe.

Les pièces à cémenter sont placées dans les fours, à des intervalles de trois à quatre centimètres environ, sur des traverses en fer qui les supportent par leurs extrémités. Ces intervalles sont remplis de terre comprimée et réglée de manière à ne laisser à découvert que l'épaisseur à cémenter, et à empêcher le reste du pourtour de la pointe d'être trop fortement chauffé.

On applique alors sur le tout une couche de cément (charbon de bois pilé fin) de six à huit centimètres d'épaisseur.

Les pièces restent au four pendant quatre jours à la température du blanc, correspondant à 1300° d'après le pyromètre de Wedgwood. La cémentation ayant atteint dans cet espace de temps une épaisseur suffisante ($0^m.008$), on retire les pièces et on les plonge verticalement dans l'eau froide, en ayant soin de les agiter pour que l'eau qui les entoure ne s'échauffe pas trop.

C'est dans cette dernière opération que consiste la trempe.

La cémentation d'une pointe de croisement coûte 18 francs, transport compris.

Note II. — *Tableau indicatif des divers systèmes de voies, avec leur longu*

DÉSIGNATION DES LIGNES ET PARTIES DE LIGNES.		DISTANCES correspondantes.	VOIES EN RAILS à double champignon symétrique de 4^{m} 50 de longueur, pesant 30 kilogrammes par mètre courant, et reposant sur traverses ordinaires	
			sans éclisses aux joints	avec éclis[ses] à l'intérie[ur] de la voie et coussine[ts] spéciaux formant éclisses à l'intérieu[r]
		m.	m.	m.
Ligne de Paris en Belgique, par Pontoise, Lille et Valenciennes.	de Paris à Creil.	67 329	»	»
	de Creil à Amiens	80 310	»	»
	d'Amiens à Douai.	92 635 (a)	495	»
	de Douai à la frontière par Valenciennes.	47 810 (b)	1 677	»
	de Douai à la frontière par Lille.	48 281 (c)	1 502	»
Lignes du littoral.	de Lille à Calais.	104 732 (d)	464	»
	d'Hazebrouck (bifurcation). à Dunkerque.	39 148	»	»
Ligne d'Amiens à Boulogne.		123 005	115 709	14 900
Ligne de Noyelles à Saint-Valery.		5 585	»	4 254
Ligne de Creil à Erquelines fre	de Creil (bifurcation) à Saint-Quentin.	102 260	»	»
	de Saint-Quentin à Erquelines.	86 431	»	»
Ligne d'Hautemont à la Frontière.		9 183	»	»
Ligne de Busigny à Somain (de bifurcation à bifurcation).		48 743	»	»
Ligne de Tergnier à Laon.		29 482	180	»
Ligne de Creil à Beauvais.		37 155	»	»
Ligne de Paris à Creil par Chantilly (de bifurcation à bifurcation).		46 672	»	»
Totaux.		968 761	119 577	19 154

(a) Y compris le raccordement de Longueau.
(b) Y compris le raccordement de Douai.
(c) Y compris le raccordement de Fives.
(d) Cette distance est comptée à partir du point où la ligne de Calais se détache de la ligne de Belgique, à Fives.
(e) Ce chiffre représente la longueur de l'Estacade de la baie de Somme, sur laquelle les rails Vignole sont posés sur longrines.
(f) Les deux voies de la ligne de Mons à Hautmont se confondent en une seule, à partir d'un point situé à 1635 mètres de l'axe du bâtiment principal de la station d'Hautmont. Cette voi

[...] simple voie composant le réseau du Nord, au 31 décembre 1859.

VOIES EN RAILS à double champignon symétrique, de 4m.50 et 5 mètres de longueur (ancien modèle), pesant 37 kilogrammes par mètre courant, et reposant sur: traverses ordinaires, sans éclisses aux joints	traverses ordinaires, avec éclisses aux joints.	traverses système Barberot, avec éclisses aux joints.	VOIES EN RAILS à double champignon symétrique de 6 mètres de longueur (nouveau modèle), pesant 37 kilogrammes par mètre courant, et reposant sur: traverses ordinaires, avec éclisses aux joints.	traverses système Pouillet, avec éclisses aux joints.	VOIES EN RAILS à base plate, dits Vignole, de 6 mètres de longueur, pesant 37 kilog. par mètre courant, et reposant sur: traverses ordinaires, avec éclisses aux joints.	traverses système Pouillet, avec éclisses aux joints.	VOIES EN RAILS à double champignon non symétrique, de 5m et 6m de longueur, pesant 35k.560 par m. courant, sans éclisses aux joints, et reposant sur traverses ordinaires.	LONGUEURS totalisées.
m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
»	8 076	4 156	101 893	3 522	13 514	3 497	»	
»	»	»	126 313	34 307	»	»	»	
»	»	»	98 958	36 236	49 581	»	»	
»	87	»	55 722	36 640	1 494	»	»	672 730
»	464	»	47 027	»	47 569	»	»	
171 882	9 058	27 459	1 051	»	»	»	»	
								287 760
75 833	322	2 141	»	»	»	»	»	
»	»	»	»	»	113 579	1 822	»	246 010
»	»	»	»	»	1 331 (e)	»	»	5 585
»	147 795	56 725	»	»	»	»	»	
								377 382
»	»	»	105 452	67 410	»	»	»	
»	»	»	18 004	»	»	»	»	18 004 (f)
»	»	»	»	»	96 508	978	»	97 486
»	»	»	»	»	57 663	»	»	57 843 (g)
»	»	»	310	»	»	»	73 690	74 000 (h)
»	»	»	2 897	»	90 447	»	»	93 344 (i)
247 715	165 802	90 481	557 627	178 115	471 686	6 297	73 690	1 930 144

unique se prolonge jusqu'à la Sambre. Ce prolongement est de 1 273 mètres, il a été compris dans le chiffre 18 004.

(g) Y compris la voie unique du raccordement de Condren (1 121 mètres) et les 550 mètres de double voie comprise entre la gare de Laon et la limite commune des compagnies du Nord et des Ardennes.

(h) Les deux voies de la ligne de Beauvais se confondent à 310 mètres de l'axe de la gare couverte de Creil, la longueur de cette ligne, en simple voie, se trouve ainsi réduite à 74 000 mètres.

(i) La ligne de Chantilly se détache de la ligne de Pontoise au point kilométrique 3 025. La bifurcation du côté de Creil est, d'après le tableau des distances officielles, à 49 697 mètres de Paris (trajet direct).

CHRONIQUE.

Juillet et Août 1860.

SOMMAIRE.

Canal d'irrigation de Carpentras; amélioration des Landes; prix décernés par la société d'encouragement. — Bulletin bibliographique.

Canal d'irrigation de Carpentras, etc. — Dans sa dernière séance solennelle annuelle, la société d'encouragement pour l'industrie nationale, a décerné deux de ses grandes médailles d'or à des entreprises de travaux de génie rural, exécutés par des ingénieurs des ponts et chaussées.

L'une de ces médailles a été obtenue par M. Chambrelent pour la création et l'exploitation de son domaine de Pierroton, et l'ensemble de ses travaux relatifs à l'amélioration des landes de Gascogne (*).

Tous les lecteurs des *Annales* connaissent les beaux résultats obtenus dans les Landes par M. Chambrelent (**). Il est inutile de rappeler ici ces importants travaux.

L'autre grande médaille a été accordée au syndicat du canal d'irrigation de Carpentras. Un fac similé de cette médaille a été remis à M. Conte.

En attendant que M. Conte, maintenant ingénieur en chef de la Basse-Savoie, auquel on doit ce beau canal, publie sa description détaillée, nous empruntons au rapport fait à la société

(*) Rapport fait, au nom du comité d'agriculture, par M. Hervé Mangon, sur la création et l'exploitation d'un domaine de 500 hectares dans les landes de Gascogne, par M. Chambrelent. (*Bulletin de la Société d'encouragement*, 1860, page 14.)

(**) Voyez deux mémoires de M. Chambrelent insérés dans les *Annales*, année 1858, 2ᵉ semestre, page 349, et année 1856, 2ᵉ semestre, page 356.

d'encouragement quelques renseignements relatifs à cette grande entreprise d'intérêt agricole (*). Cet exemple permet d'apprécier tout ce que l'agriculture peut attendre d'associations volontaires d'intéressés, constituées en syndicat set convenablement administrées.

Un arrêté du préfet du département de Vaucluse, en date du 16 octobre 1849, organisa, sur la demande de quelques propriétaires, un syndicat provisoire à l'effet de représenter les intéressés à la construction du canal d'irrigation dit de Carpentras.

Ce syndicat avait pour mission de représenter l'association dans toutes les démarches à faire, soit vis-à-vis l'administration, soit vis-à-vis des tiers. Il ouvrit des listes de souscription parmi les propriétaires. Moyennant une cotisation de 375 fr. par hectare, les souscripteurs s'assuraient le droit d'arroser à perpétuité les terres engagées par eux, sauf la répartition annuelle des frais d'entretien et d'administration entre les terres arrosées chaque année.

L'activité des démarches du syndicat provisoire et de son ingénieur M. Conte, la confiance qu'ils inspiraient, permirent de remplir assez rapidement une liste de souscription, comprenant 5 301 hectares arrosables, c'est-à-dire près du tiers de la surface totale que les eaux pouvaient atteindre.

Le 15 février 1853, un décret constitutif de l'entreprise autorisa les propriétaires compris dans les listes de souscription à se réunir en association syndicale, sous le nom de *Société du canal de Carpentras,* conformément aux dispositions du projet d'association dressé par le syndicat provisoire.

L'association est administrée par un syndicat composé de onze membres, choisis dans chacune des communes traversées par le canal. Le syndicat définitif fut institué le 1er avril 1853. Inutile d'ajouter que les syndics provisoires furent maintenus dans des fonctions qu'ils avaient si dignement remplies.

Les travaux de la ligne principale furent commencés en octobre 1854, avec le concours d'une subvention de 400 000 fr.

(*) Rapport fait, au nom du comité d'agriculture sur le canal d'irrigation de Carpentras, par M. Hervé Mangon. (*Bulletin de la société d'encouragement*, p. 269, et Pl. 193.)

accordée par l'état. Les eaux ont été introduites au mois de mars 1857, c'est-à-dire après deux ans et demi de travaux assidus.

Décrivons en peu de mots le grand canal d'arrosage dont nous venons de tracer rapidement l'historique.

Le canal de Carpentras a sa prise à la Durance, au rocher de Mérindol; cette prise est commune aux trois associations de Cabedan-Neuf, de l'Isle et de Carpentras.

Le canal de Cabedan-Neuf, élargi et rectifié dans les parties défectueuses, est également commun aux trois associations, jusqu'au pont Perussier, sur une longueur de 18 kilomètres.

Le canal de l'Isle, également élargi, est commun aux associations de l'Isle et de Carpentras, sur une longueur de 6 kilomètres entre le pont Perussier et la Tour de Sabran. Le canal de Carpentras, proprement dit, commence à ce dernier point.

La portée légale de ces canaux est la suivante :

Pour le canal	de Cabedan-Neuf. . .	2	mètres cubes par seconde.
—	de l'Isle.	2	—
—	de Carpentras. . . .	6	—
		10	

Comme ces portées se rapportent au temps du plus bas étiage, M. Conte, l'ingénieur de l'association, qui a projeté, dirigé et exécuté cette grande entreprise, a donné au canal, jusqu'au pont Perussier, une portée de 15 mètres, au canal de l'Isle, jusqu'à la Tour de Sabran, une portée de 12 mètres, et au canal de Carpentras une portée de 9 mètres, qui décroît progressivement avec l'importance des prises successives d'arrosage.

En partant de la Tour de Sabran, le canal traverse la route de Montpellier à Digne, vient passer sur le petit vallon de Saint-Nicolas, puis, un peu plus loin, traverse le célèbre vallon de Vaucluse, sur le pont-aqueduc de Galas, monument d'un excellent style et le plus important des ouvrages de la ligne.

Le canal se développe ensuite sur les coteaux de Saumanes, Velleron et Pernes. Il passe en souterrain sous le boulevard de de cette dernière ville, traverse le torrent de la Nesque et se développe dans les plaines arides comprises entre Pernes et Carpentras. Il traverse le contre-fort de Carpentras au moyen

d'un souterrain de 350 mètres de longueur, le torrent de Lauzon sur un pont-aqueduc, la route de Carpentras au moyen d'un siphon en béton très-remarquable par la solidité et l'économie de sa construction, et va se développer sur les coteaux de Carpentras, Aubignan, Beaumes, Vacquemens et Sarrians, et arrive, par un souterrain de 1 030 mètres de longueur, dans la vallée de l'Ouvèze, où il s'arrête, en attendant qu'il soit prolongé pour arroser la commune de Jonquières.

La longueur du canal, de son extrémité d'aval à la Tour de Sabran, est de 53 996 mètres, et de 77 996 mètres jusqu'à la prise d'eau dans la Durance.

La pente en long du canal est réglée à 0m.28 par kilomètre, de Sabran à la vallée de Vaucluse; à 0m.26, de ce point à Pernes; à 0m.25, de Pernes à Carpentras, et, enfin, à 0m.20, de cette ville à l'Ouvèze.

Les travaux d'art du canal sont assez nombreux : bien que construits avec une sévère économie et une grande simplicité, leur aspect est des plus satisfaisants. Le tracé du canal et l'exécution de toutes ses parties font le plus grand honneur à l'habile ingénieur qui s'est dévoué avec tant de zèle, d'abnégation et de désintéressement à cette œuvre d'utilité publique.

Le canal principal est complétement terminé et reçoit les eaux depuis 1857, comme on l'a déjà dit. Mais les rigoles principales, qui sont à la charge du syndicat, ne s'étendent encore qu'à une fraction du territoire arrosable, dont l'étendue totale est de 16 600 hectares, comme on l'a déjà dit.

Par suite de mécomptes assez importants dans le versement des souscriptions et de quelques augmentations de dépenses reconnues nécessaires en cours d'exécution, les sommes primitivement perçues par le syndicat n'ont pu suffire à l'achèvement de toutes les rigoles principales. Les dépenses faites jusqu'à ce jour s'élèvent à 2 000 000 de francs. La dépense totale, nécessaire à l'achèvement complet des rigoles d'arrosage et de tous les détails de distribution, s'élèvera à 2 800 000 fr.; le syndicat s'est mis en mesure de se procurer les 800 000 fr. qui lui sont encore nécessaires et n'attend plus, pour disposer de cette somme, que l'accomplissement de formalités administratives qui touchent aujourd'hui à leur fin.

Malgré les retards résultant nécessairement de cet embarras momentané, les irrigations, au moyen des eaux du canal de Carpentras, s'étendaient, en 1858, à une surface de 400 hectares, et, en 1859, à une surface de 900 hectares environ, non compris 4 ou 500 hectares de terres étrangères à l'association, qui ont profité des eaux que le canal amenait sans pouvoir les utiliser sur les propriétés du syndicat. En 1860, la surface arrosée ne dépasse pas encore 12 à 1 500 hectares. Mais, avant peu d'années, la totalité du territoire arrosable recevra les bienfaits des eaux limoneuses et si précieuses de la Durance.

Les résultats obtenus dans les cultures arrosées jusqu'à présent sont d'ailleurs aussi merveilleux que le promettait l'expérience antérieure des contrées environnantes. Les mauvaises garigues, qui, en 1854, se vendaient à grand'peine 200 fr., se vendent, en ce moment, avant la mise en culture, par le fait seul d'être arrosables, 12 et 1 300 fr. l'hectare.

Les bonnes terres des environs de Carpentras, dans la vallée du Lauzon, se louent de 130 à 150 fr. l'hectare; le jour où l'eau y arrive, les fermiers se les disputent à 325 et 390 fr. l'hectare.

On s'est borné, dans ce qui précède, à citer quelques faits relatifs à l'organisation du syndicat du canal de Carpentras et aux résultats de ses courageux efforts.

Ces faits suffisent pour faire comprendre tout ce qu'il a fallu d'amour du bien public, de désintéressement, de persévéance, de courage et d'habileté pour réunir, dans une seule pensée, près de 10 000 propriétaires, pour obtenir d'eux des sommes d'argent considérables, pour suivre, au milieu des lenteurs et des difficultés d'une instruction administrative, la marche d'une opération aussi compliquée, pour mener à bonne fin l'exécution de travaux aussi considérables, embarrassés de détails aussi nombreux et aussi divers.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

JUILLET ET AOUT 1860.

DALY. L'Architecture privée au XIX siècle, sous Napoléon III. Nouvelles maisons de Paris et des environs. Plans, élévations, coupes, détails de construction, de décoration et d'aménagement; par M. César Daly, architecte

du gouvernement. 1re livraison. Petit in-folio, 4 pl. — Paris, libr. Morel et Ce. La livraison, 3f.75.

2 vol. in-folio, composés de gravures sur acier, de chromolithographies et d'un texte illustré par des gravures sur bois. — Six pages de texte illustrées représenteront une planche gravée. — Une chromolithographie représentera trois planches gravées. — Chaque volume se composera d'environ 25 livraisons.

Dubreuil. Manuel d'arboriculture des ingénieurs, plantations d'alignement, forestières et d'ornement, boisement des dunes, des talus, haies vives des parcelles excédantes des chemins de fer; par A. Dubreuil, chargé du cours d'arboriculture au Conservatoire impérial des arts et métiers. Grand in-18, II-228 p. et 254 fig. — Paris, libr. Victor Masson; Garnier frères.

Annuaire des marées des côtes de France pour l'an 1861, publiée au dépôt de la marine sous le ministère de M. l'amiral Hamelin; par A. M. R. Chazallon, ingénieur hydrographe de 1re classe, et L. Gaussin, ingénieur hydrographe de 2e classe. In-18, VIII-323 p. — Paris, impr. et libr. Firmin Didot frères, fils et Ce.

Publications du dépôt de la marine.

Endrès. Manuel du conducteur des ponts et chaussées, d'après le dernier programme officiel des examens; par M. E. Endrès, ingénieur des ponts et chaussées, etc. Ouvrage indispensable aux conducteurs et employés secondaires des ponts et chaussées et des compagnies de chemins de fer, aux agents voyers et à tous les candidats à ces emplois. 3e *édition*. Tome II. Partie pratique, avec 224 figures sur bois intercalées dans le texte. In-8, VIII-344 p. — Paris, impr. et libr. Mallet-Bachelier. Les deux vol., 13 fr.

Ducos. Tables servant au tracé des circonférences de cercle sur le terrain, dressées pour les études et la construction des chemins de fer des Ardennes, sous la direction de M. Edouard Ducos, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Grand in-8, 101 p. — Mézières, impr. et libr. Blanchard.

Cavrois. Manuel des agents voyers, experts, etc., en matière de subventions industrielles; par M. N. Cavrois, agent voyer en chef; suivi de plus de 300 arrêts du conseil d'état, avec annotations de l'auteur, formant jurisprudence complète sur ce sujet, et d'une collection de modèles et de formules. Ouvrage utile à MM. les préfets, sous-préfets, les administrateurs, propriétaires, etc., de bois, mines; les ingénieurs, conducteurs, agents voyers, géomètres experts; les avocats, les avoués, etc., enfin à toutes les personnes qui ont à s'occuper, soit en demandant, soit en défendant, soit comme juges, soit comme conseils, de l'exécution de l'article 14 de la loi du 21 mai 1836. 2e *édition*. In-8, 148. — Paris, libr. Lacroix. 3 fr.

Grimaud. Mémoire sur les eaux de Paris. Projet de distribution générale; par Gabriel Grimaud, de Caux. Monument hydraulique et eaux jaillissantes, dessinés par Adrien Dauzats. In-4, 66 p. — Paris, impr. Raçon et Ce.

Durand. Mémoire pour servir à faire connaître le régime des eaux de l'arrondissement de Dunkerque, tant pour le desséchement du pays que pour la navigation, l'irrigation et l'alimentation de la ville de Dunkerque par les eaux douces; comprenant la division et la nomenclature du territoire sou-

mis aux wateringues, avec recherches et observations propres à résoudre plusieurs des questions proposées pour les assises du congrès archéologique de France qui se tiendront à Dunkerque en août 1860; par M. Durand, conducteur spécial de la 4e section des wateringues. In-8, 176 p., plan et carte. — Dunkerque, libr. Maillard.

VERKOUSTRE. Notice sur les eaux de l'arrondissement de Dunkerque, sous le triple rapport de l'alimentation, de la salubrité et du dessèchement, et de leur relation avec la navigation; par M. Frédéric Verkoustre, conducteur spécial des wateringues et membre de la chambre consultative d'agriculture de Dunkerque. In-8, 29 p. et plan. — Lille, impr. Lefebvre-Ducrocq.

CLAUDEL. Formules, tables et renseignements pratiques; aide-mémoire des ingénieurs, des architectes, etc.; par J. Claudel, ingénieur civil, etc. 5e *édition*, revue et considérablement augmentée. In-8, xxxii-1173 p. et 3 pl. — Paris, libr. Dunod.

Annales du Conservatoire impérial des arts et métiers, publiées par MM. les professeurs; M. Ch. Laboulaye, directeur de la publication. N° 1. Juillet 1860. In-8, 208 p. et 2 pl. — Paris, libr. Lacroix. Abonnement: 16 fr. par an pour toute la France.

Les Annales du Conservatoire paraîtront tous les trois mois, à partir du 1er juillet 1860, en vol. de 10 à 15 feuilles avec grav. sur cuivre et sur bois.

Sommaire du premier numéro: — I. Description de la salle des machines en mouvement et des expériences de mécanique au Conservatoire impérial des arts et métiers; par M. Tresca.— II. Des accidents que peut occasionner, dans le blanchiment, la teinture, l'impression et l'apprêt des tissus, l'emploi des mastics plombifères; par M. Persoz. — III. Étude des progrès techniques de la filature du coton depuis son origine et des principales causes du succès de l'industrie cotonnière; par M. Alcan. — IV. Études historiques sur la théorie de la chaleur; par M. E. Laboulaye. — V. Sur l'éclairage des phares et la lumière électrique; par M. Faraday. — VI. Compte rendu de l'exposition d'agriculture de 1860.

MEISSAS. Tables pour servir aux études et à l'exécution des chemins de fer, ainsi que dans tous les travaux où l'on fait usage du cercle et de la mesure des angles; par N. Meissas, ancien ingénieur du chemin de fer de Paris à Cherbourg, membre de l'Académie impériale de Reims, censeur des études au lycée de Cahors. Ouvrage honoré de la souscription du ministre des travaux publics. — Paris, Mallet-Bachelier, impr.-libr.

FAIRBAIRN (W.). Useful Information for Engineers. 3rd edit., revised. Post 8vo. 10*s*.6*d*. cloth.

HUMBER (William). A Practical treatise on cast and wrought iron bridges and girders, as applied to Railway Structures and to Buildings Generally. With numerous Examples, drawn to a large scale, selected from the public Works of the most Eminent Engineers, by William Humber, Assoc. Inst. Civil Engineers, and Member of the Institution of Mechanical Engineers. With 58 full-page Plates, folio, price 3*l*.10*s*. half-morocco.

N° 262

REMARQUES

Sur les poutres en treillis et les poutres pleines en tôle ;

Par M. JOURAWSKI, colonel au corps des ponts et chaussées de Russie.

L'objet de cette notice est de rechercher les bonnes conditions d'emploi du fer pour les parois des poutres des ponts métalliques à grande portée.

Afin d'être à même de bien juger les conditions d'établissement des poutres pleines dont on s'est servi jusqu'à présent pour plusieurs ponts à grande portée, il faut d'abord apprécier les avantages et les inconvénients que présentent les différentes dispositions du treillis des poutres.

On peut adopter, pour les poutres en treillis, l'une des dispositions A et B indiquées Pl. 181, *fig.* 1.

Supposons que deux poutres, construites suivant ces deux dispositions, soient encastrées à l'une de leurs extrémités par les deux tables horizontales, et qu'à l'autre extrémité elles soient chargées d'un poids p. Admettons, en outre, que les deux poutres aient les mêmes dimensions comme hauteur, longueur et largeur totales, et que les tables horizontales soient reliées par un même nombre impair n de pièces inclinées $a'b$, $b'a$, $a'b$, $b'a$,.... (type A) et aa', $a'b$, bb',.... (type B). Dans la première disposition, sur deux pièces du treillis, l'une est inclinée et l'autre verticale; tandis que dans la seconde, toutes les pièces sont inclinées;

mais alternativement dans l'un ou l'autre sens. Nous supposons également que les barres inclinées fassent avec les deux tables un angle de 45°, et que leurs sections transversales soient telles que ces barres soient soumises à un même effort a par centimètre quarré de section. Ces différentes conditions admises, examinons quelle est celle des deux poutres qui, à résistance égale, demande le moins de matériaux.

Le volume de la poutre A comprend :

1° Celui des montants verticaux ; h étant leur longueur et $\frac{p}{a}$ leur section, leur volume sera $\frac{ph}{a}n$;

2° Celui des pièces inclinées, ayant la tension $p\sqrt{2}$, la section $\frac{p\times\sqrt{2}}{a}$, la longueur $h\sqrt{2}$, et par conséquent un volume $\frac{2ph}{a}n$;

3° Celui de la table inférieure, savoir :

$$\frac{ph}{a}(1+2+3+\ldots\ldots n)=\frac{nph}{a}\left(\frac{n+1}{2}\right);$$

4° Celui de la table supérieure égal à

$$\frac{ph}{a}n\left(\frac{n-1}{2}\right).$$

Ce qui fait pour le volume total Σ de cette poutre :

$$\Sigma=\frac{ph}{a}(3n+n^2)\ldots.(1)$$

Le volume des diverses parties de la poutre B est représenté :

1° Pour les pièces inclinées aa', bb',...., qui sont soumises à des efforts de compression, par $\frac{2ph}{a}\left(\frac{n+1}{2}\right)$;

2° Pour les pièces $a'b$, $b'a$...., soumises à des efforts de tension, par $\frac{2ph}{a}\left(\frac{n-1}{2}\right)$;

3° Pour la table inférieure, par

$$\frac{2p}{a}\times 2h+\frac{2p\times 4h}{a}+\ldots\ldots\frac{2p}{a}(n-1)h=\frac{ph}{a}\times\left(\frac{n^2-1}{2}\right)$$

4° Pour la table supérieure par $\frac{ph}{a}\times\left(\frac{n^2+1}{2}\right)$.

Cela donne pour le volume total Σ' de cette poutre :

$$\Sigma'=\frac{ph}{a}(2n+n^2)\ldots\ldots(2)$$

Dans les deux formules, (1) et (2), donnant les valeurs de Σ et de Σ', la quantité de fer des deux tables est calculée par la même expression $\frac{ph}{a}n^2$; cette quantité est indépendante du système de treillis, la différence de poids ne peut donc porter que sur les pièces composant le treillis.

Désignant par K le volume du treillis de la poutre A et par K′ le volume du treillis de la poutre B, il vient :

$$K=\frac{3ph}{a}n,$$

$$K'=\frac{2ph}{a}n.$$

Le volume du treillis de la poutre A, dépasse donc celui du treillis de la poutre B, d'une quantité $\frac{ph}{a}n$, laquelle est, comme on vient de le voir, égale au volume des montants verticaux de la poutre A. Le rapport $\frac{K}{K'}$ des volumes des deux treillis est exprimé par

$$\frac{\frac{3ph}{a}n}{\frac{2ph}{a}n}=\frac{3}{2};$$

c'est-à-dire que, quel que soit le nombre des pièces inclinées, pourvu que ce nombre soit le même dans les

deux poutres A et B, le treillis de la première sera égal à 1 fois 1/2 le volume de la seconde.

On pourrait objecter au calcul précédent que les pièces comprimées de la poutre B ont une longueur égale à celle des pièces verticales de la poutre A, multipliée par $\sqrt{2}$, et que par suite elles doivent recevoir une section plus forte, à compression égale. Voyons quelle peut être l'influence de cette augmentation de longueur, sur le volume des pièces comprimées de la poutre B.

On sait que la résistance d'une pièce à la compression est en raison directe de la troisième puissance de l'épaisseur de la pièce et en raison inverse du quarré de sa longueur.

Supposons que le treillis se compose de barres plates, h étant la longueur et c l'épaisseur d'une barre verticale, tandis que $h\sqrt{2}$ est la longueur et y l'épaisseur d'une barre inclinée; supposons, en outre, les largeurs proportionnelles respectivement aux forces de compression p et $p\sqrt{2}$. Pour que les deux barres aient la même résistance par centimètre quarré de section transversale, il faut que nous ayons :

$$\frac{c^3}{h^2} = \frac{y^3}{(h\sqrt{2})^2},$$

d'où nous tirons pour l'épaisseur de la barre inclinée :

$$y = c\sqrt[3]{2} = 1,26c.$$

On peut savoir maintenant de combien sera augmenté le volume du fer dans le treillis A.

Nous avons déjà admis la même charge par centimètre quarré, pour les barres qui sont tendues comme pour celles qui sont comprimées, ce qui nous a donné $\frac{K}{K'} = \frac{3}{2}$; comme toutes les barres ont la même longueur et que le nombre des barres comprimées est égal au nombre des barres ten-

dues, du moins quand leur nombre est pair, on peut exprimer le volume du treillis B par 2,26M, M représentant le volume des pièces tendues et 1,26M le volume des pièces comprimées. Alors on aura :

$$\frac{K}{K'} = \frac{3}{2.26} = 1,33.$$

C'est-à-dire que le volume du treillis A surpasse de 33 centièmes le volume du treillis B, en admettant même que la longueur des pièces inclinées entraîne une plus grande épaisseur que pour les pièces verticales. Le second système est donc beaucoup plus avantageux que le premier.

Je ne prétends pas faire là-dessus une découverte; l'avantage de l'inclinaison des barres de treillis sous l'angle 45° est connu depuis quelques années; mais pour des développements ultérieurs, il importait d'avoir la mesure de l'avantage relatif du second type de treillis sur le premier.

Passons maintenant aux treillis dont les barres ont plusieurs intersections.

La *fig.* 2 (Pl. 181) représente deux treillis à plusieurs intersections de barres. Le premier A', est formé sur le type du treillis A et le second B', sur le type du treillis B. Il est évident que ces deux treillis doivent être relativement dans les mêmes conditions que les treillis A et B, c'est-à-dire que le treillis A' exige à résistance égale 33 p. 100 de plus de fer que le treillis B'.

Ceci admis, examinons une question qui ne manque pas d'importance, vu la grande quantité de ponts en treillis qui se construisent aujourd'hui. Supposons qu'une poutre (*fig.* 3) reposant sur deux appuis K et K', soit formée d'un treillis du type B' et qu'elle supporte une charge uniformément répartie, de telle sorte qu'un poids p agisse en chacun des points a, b, c, d..... Voyons quelle influence auront,

sur la résistance de la poutre, les montants verticaux *aa'*, *ee'*......

Il est évident que les conditions du calcul des tensions ne sont plus les mêmes que dans les cas précédents. Le poids placé au point *a* produira non-seulement la compression de la pièce *ae'*, mais encore la compression du montant *aa'* et la tension de la barre *a'e*. L'action des montants verticaux *aa'*, *ee'* est double.

1° Ils forment, avec les barres *a'e*, *e'n*, un système semblable au système A' (*fig.* 2), qui fonctionnera conjointement avec le treillis sans montants verticaux (type B') ; en sorte que ce treillis peut être considéré comme composé de deux systèmes différents, exécutés suivant les types A' et B'.

Quand la charge est appliquée sur la table supérieure, la partie de cette charge supportée par le second système est d'autant moindre que les dimensions des montants sont plus grandes.

2° Quand la poutre à treillis ordinaire fléchit, les pièces du treillis sont soumises à un certain effort de flexion, conséquence nécessaire de ce que les barres sont rivées à leur intersection, ce qui empêche les barres *dd'*, *tt'*,..... (*fig.* 4) de s'allonger sans infléchir les barres *cc'*, *ee'*,..... qui, étant comprimées à leur tour, font fléchir les barres *dd'*, *tt'*.....

Par suite de la flexion des poutres, non-seulement les points *g* et *g'* s'abaissent, ou, plus exactement, reçoivent un mouvement de translation suivant la ligne *hh'* ; mais en même temps ils tendent à prendre un autre mouvement suivant l'axe de la poutre. C'est ce qui a lieu quand, par suite de l'application des poids sur la partie supérieure de la poutre, les barres comprimées travaillent sous une plus forte charge que les barres tendues. Le premier mouvement tend à produire sur le montant l'effort longitudinal dont il a déjà été parlé; quant au second mouvement, les montants verticaux s'y opposeront par leur résistance à la

flexion. Ils tendront à égaliser la tension des barres qui se croisent.

Il est donc évident qu'en vertu de leur double action, les montants verticaux tendront à diminuer la compression de certaines barres inclinées et à augmenter la tension des autres. Comme les barres, à sections égales, résistent mieux à la tension qu'à la compression, il s'ensuit que les montants verticaux ajoutés aux treillis, en soulageant les pièces les plus faibles, augmentent la résistance de la poutre, quand la charge est appliquée à la partie supérieure de cette poutre.

Toutefois on peut douter que l'application de montants verticaux permette un emploi économique de la matière. D'après les considérations précédentes sur les différents types de treillis, nous pensons qu'il serait plus avantageux d'employer le fer des montants verticaux à augmenter les dimensions transversales des barres soumises à un effort de compression. Les expériences faites en Allemagne ont prouvé que les montants verticaux ajoutent à la résistance du treillis; mais elles ne prouvent nullement que le fer mis dans les montants verticaux soit employé le plus avantageusement possible.

L'emploi des montants verticaux peut devenir encore moins avantageux quand la charge est appliquée à la partie inférieure de la poutre, parce qu'alors ils tendraient à soulager les parties les plus résistantes (les barres tendues) en reportant la charge sur les parties les plus faibles (les barres comprimées) (*).

Pour éviter tout malentendu, nous rappellerons que les derniers raisonnements sont faits dans la supposition que les barres tendues et comprimées ont la même section

(*) Pour la résistance des barres d'un treillis, voyez l'article dans le journal allemand *Zeitschrift für Bauwesen*.

dans les mêmes parties du taillis, comme cela a lieu habituellement.

Dans le pont d'Offerbourg, le tablier du pont est à la hauteur de la table inférieure, et il n'a pas de montants verticaux malgré la longueur de la portée et la faible section de ses barres.

Les considérations précédentes pourraient être appliquées à l'étude de la construction des poutres pleines.

Clarke, dans son ouvrage *The Britannia and Conway tubular bridges*, page 182, dit, en parlant d'une poutre pleine chargée en son milieu, que les ondulations de la paroi verticale avaient permis le rapprochement des tables horizontales et avaient causé la rupture. Il lui a semblé évident que «la tension de la partie supérieure de la poutre » et la compression de la partie inférieure, s'équilibrant par » l'intermédiaire de la paroi verticale, les montants verti- » caux étaient indispensables, la paroi verticale étant trop » mince pour s'opposer efficacement à la tendance au rap- » prochement des deux tables, produite par des efforts qui » agissent diagonalement sur la paroi. »

On peut objecter à la conclusion tirée par Clarke de ses expériences, que si la tendance au rapprochement des parties supérieure et inférieure tient à l'existence de forces diagonales, il serait plus rationnel de dire que la paroi était trop mince, non pour s'opposer au rapprochement des tables, mais pour résister aux forces diagonales auxquelles elle était soumise.

C'est une remarque essentielle, car on peut s'opposer au rapprochement des tables par l'emploi des montants verticaux, comme on l'a fait dans les grands ponts anglais et plus tard dans tous les grands ponts avec poutres pleines qui ont été construits sur le continent; mais le meilleur moyen d'empêcher la paroi de se voiler et par suite les tables de se rapprocher, ne consiste pas dans l'emploi des montants verticaux, mais dans l'augmentation de la ré-

sistance de la paroi dans le sens même de l'action des forces diagonales.

Peut-être serait-il utile d'entrer dans des considérations plus étendues, pour faire ressortir les conditions de bonne exécution d'une poutre pleine en tôle. Supposons une poutre pleine (*fig.* 5), reposant sur deux appuis placés aux deux extrémités. La charge, uniformément répartie, peut être distribuée de trois manières :

1° Elle peut être appliquée par moitié sur la partie supérieure C et sur la partie inférieure D;

2° Elle peut être uniquement appliquée sur la partie supérieure C;

3° Elle peut être uniquement appliquée sur la partie inférieure D.

Dans le premier cas, en supposant que les extrémités de la poutre soient très-fortes, il n'y a pas de raison pour que les forces diagonales de compression et de tension ne soient pas égales, et les tables C et D considérées dans les sections *ab*, *cd*. . . . . ne doivent ni se rapprocher ni s'éloigner, du moins tant que les forces diagonales ne sont pas assez puissantes pour faire voiler la paroi. Dans ce dernier cas seulement les montants verticaux deviendraient utiles.

Néanmoins si on les emploie, pour prévenir le voilement en les faisant travailler par flexion, on ne peut admettre que le fer de ces montants soit convenablement utilisé; puisqu'il entre dans les conditions d'un bon système que les pièces ne soient soumises qu'à des efforts qui les compriment ou les tendent. L'étude des deux cas suivants nous fera trouver un meilleur emploi de la matière.

Supposons d'abord que la charge agisse sur la partie supérieure. On comprend de prime abord que les efforts de compression agissant sur la paroi sont plus grands que les efforts de tension, comme cela a lieu dans une poutre en treillis. La conséquence nécessaire de la différence de ces efforts, est la tendance au rapprochement des parties supé-

rieure et inférieure de la poutre, et par suite la compression verticale de la paroi. Les montants verticaux auraient, dans ce cas, deux rôles à jouer : résister aux efforts de compression et empêcher la paroi de se voiler par suite des forces diagonales qui la compriment. Alors la poutre pourrait être regardée comme composée de deux systèmes (*fig.* 6) : l'un formé d'un treillis (type B') ayant une infinité de barres inclinées ; l'autre (type A') composé de montants verticaux et de barres inclinées ; les montants de cette dernière serviraient en outre, par leur propre résistance à la flexion, à consolider les pièces inclinées du premier treillis, en prévenant leur voilement.

Comme nous l'avons déjà dit, l'emploi du fer dans ce dernier cas n'est pas tout à fait rationnel, car le système A' demande 33 p. 100 d'augmentation sur le système B'. Il serait donc plus avantageux d'employer le fer en montants inclinés, suivant la direction des forces diagonales, au lieu d'adopter des montants verticaux.

Quand le poids est réparti sur la partie inférieure de la poutre, comme cela avait lieu dans les expériences de Clarke, les forces diagonales agissant par traction deviendront plus grandes que celles agissant par compression. Il est clair que dans ce cas les parties horizontales supérieure et inférieure tendent à s'écarter tant que la paroi verticale ne se voile pas.

Quel serait alors le rôle des montants verticaux? Leur rôle serait double. Ils subiront d'abord un effort de tension et produiront aux points a, c, b' une concentration, pour ainsi dire, des forces diagonales de compression ; ensuite, par leur résistance à la flexion, ils préviendront le voilement de cette paroi ; ce qui, du reste, demande qu'ils soient placés à des distances assez rapprochées. Mais dès que les ondulations de la paroi se seront produites, les montants verticaux joueront un rôle tout différent. Les parties A et B, tendant à se rapprocher, comprimeront ces montants

verticaux ; ce qui toutefois n'aura lieu que par suite des ondulations préalables de la paroi verticale. On peut donc admettre que lorsque les poutres des ponts ne sont pas chargées de manière à produire le voilement de la paroi verticale, la charge étant d'ailleurs disposée sur la partie inférieure de la poutre, les montants verticaux placés dans le but de prévenir le rapprochement des tables, sont bien assurément tendus et non comprimés, et qu'ils ne seront comprimés que quand la charge des poutres est assez grande pour produire la déformation de la paroi.

Cette remarque est trop importante pour ne pas nous arrêter un moment.

Quand une poutre en treillis (*fig.* 7), reposant sur deux appuis, supporte en chacun des points a, b, c. .... un poids que nous faisons égal à p, la simple décomposition des forces démontre que, dans chacun des rectangles $aba'b'$, la diagonale $a'b$ est plus tendue que la diagonale ab' n'est comprimée. Dans ces conditions, l'écartement des points a et a', b et b' est inévitable. Il est évident que quelque chose d'analogue doit se produire dans une poutre pleine, et il n'y a aucune raison de penser que les parties horizontales puissent se rapprocher sans qu'il y ait déformation de la paroi verticale. Clarke a bien constaté le rapprochement dans les expériences qu'il a faites sur un modèle de poutre en tôle pleine; mais il ne l'a constaté que quand la paroi verticale avait déjà subi une déformation prononcée.

La même chose se passerait dans les poutres en treillis si les pièces étaient soumises à des efforts qui dépasseraient leur limite de résistance. Supposons que l'une des pièces inclinées, ak', par exemple, fléchisse sous un excès d'effort, la partie $a'k'$ sera également obligée de fléchir. La même chose aurait lieu en tout autre point de la poutre. Il arriverait alors que les tables supérieure et inférieure, quoique solidaires, résisteraient en partie à la flexion comme des poutres isolées. En outre, la table supérieure ayant une

longueur plus grande entre ses points d'appui que la poutre inférieure soutenue aux points *a* et *d* par des pièces *ak'* et *dk''*, il est clair que la table supérieure fléchirait davantage et se romprait la première.

C'est ce qui arrivait aux poutres pleines dans les expériences de Clarke, qui a observé une ondulation longitudinale de la paroi. A mon avis, cette ondulation était la suite de l'excès de la flexion isolée de la table supérieure comparativement à celle de la table inférieure. Ce serait une erreur de croire que la prompte rupture de la poutre, dans les expériences de Clarke, était causée par l'intensité des forces longitudinales dans les tables supérieure et inférieure regardées comme parties d'une seule poutre, en supposant que l'intensité de ces forces dépendait de la réduction de la hauteur totale de la poutre. Au contraire, la réduction de la hauteur de la poutre et la rupture précoce de cette dernière étaient, l'une comme l'autre, les résultats des flexions isolées des tables supérieure et inférieure, qui, par suite du voilement de la paroi, avaient perdu la liaison nécessaire pour qu'elles ne pussent résister que comme parties d'une même poutre. Mes propres expériences, dont je parlerai plus loin, ont complétement confirmé cette explication des phénomènes remarqués par Clarke.

Pour que les tables C et D ne travaillent pas isolément, il faut que les pièces intermédiaires soient suffisamment solides, pour résister aux efforts de tension et de compression auxquelles elles sont soumises.

Trois dispositions principales peuvent être adoptées pour la paroi verticale d'une poutre :

1° Le treillis (nous avons déjà constaté l'avantage de la poutre B' (*fig.* 2) sur la poutre A') ;

2° La paroi pleine avec des montants verticaux ;

3° La paroi pleine avec des montants inclinés.

Nous allons examiner maintenant auquel de ces trois systèmes on doit accorder la préférence, au point de vue

de l'économie de la matière employée dans la construction d'une poutre devant résister d'une manière permanente à une charge déterminée.

Comparé aux poutres pleines, le treillis a sur ces dernières l'avantage de permettre d'apprécier la tension de chacune de ses parties; mais il a aussi un désavantage. Dans le treillis, certaines barres résistent uniquement à la tension et d'autres uniquement à la compression, bien que le fer déjà soumis à un effort de tension puisse en même temps résister à un certain effort de compression agissant dans une direction normale ou inclinée à l'effort de traction. La paroi pleine, composée d'une tôle résistant à la fois à la traction et à la compression, présente nécessairement une économie de matière sur le treillis.

La paroi pleine peut être sous un certain rapport considérée comme un treillis dont les barres sont séparées par des espaces infiniment petits; c'est-à-dire que *ab* (*fig.* 2) serait égal à zéro. Si les forces qui compriment la paroi verticale n'avaient aucune influence sur son épaisseur, il est évident que la tôle demanderait moins de fer que le treillis; mais comme à mesure que les barres *a'b*, *ab*..... (*fig.* 1) deviennent plus larges et moins épaisses, leur résistance à la flexion devient moins grande, on est obligé d'employer des montants pour empêcher leur déviation.

La présence des pièces accessoires telles que les montants rend fort difficile la comparaison de l'emploi plus ou moins avantageux de la matière dans les poutres en treillis et les poutres en tôle pleine; néanmoins, en admettant que la poutre pleine à montants verticaux demande approximativement la même quantité de fer que la poutre en treillis, on peut admettre que la première deviendra plus économique quand on adoptera des montants inclinés.

Ordinairement, on emploie pour la construction des montants verticaux une quantité considérable de fer. Dans le pont de Langon, par exemple, dont la paroi verticale a

de 7 à 12 millimètres d'épaisseur; le volume des montants verticaux suffirait pour faire une paroi pleine d'environ 9 millimètres. C'est-à-dire qu'il y a presque autant de fer dans les montants que dans la paroi verticale même.

La poutre peut dans ce cas être regardée comme un treillis A (*fig.* 1), dans lequel la paroi résisterait à la tension et les montants à la compression.

Nous avons vu précédemment que le treillis A demande 33 p. 100 de plus de fer que le treillis B; par conséquent, en inclinant les montants verticaux et en leur donnant la section strictement nécessaire pour suppléer à la faiblesse de la paroi devant les forces qui la compriment, la poutre en tôle se rapprocherait de la disposition de la *fig.* B, et serait plus économique qu'une poutre en treillis, quelle qu'elle fût.

Soit a la valeur des efforts de compression et de tension qui agissent sur une certaine longueur de la paroi de la poutre; admettons que la paroi soit suffisamment forte pour résister aux efforts de tension a, et qu'elle ne puisse résister aux efforts de compression qu'autant qu'ils ne surpassent pas la valeur $b < a$. La combinaison la plus économique serait de placer les montants inclinés dans la direction du plus grand effort de compression, et de faire les montants assez forts pour rendre la paroi tout aussi résistante aux efforts de compression qu'elle l'est aux efforts de traction.

Ce point éclairci, cherchons quelle serait l'inclinaison la plus avantageuse pour les montants.

Soit kk' (*fig.* 8) une poutre pleine chargée au point b; on peut supposer chaque moitié bk de cette poutre, comme composée d'une quantité infinie de systèmes, $bcdefghk$, bk, $badehk$, $bafk$ ou $bb'b''k$, dans lesquels $bd = df = fh = hi$; angle $dac = 61°10'$; $bb'a = 45°$. Si l'on savait dans lequel de ces systèmes les pièces sont les plus chargées, on pourrait en déduire dans quelle direction de la paroi est le

plus comprimée et dans quelle direction elle est le plus tendue.

Supposons diverses poutres établies dans les cinq différentes conditions indiquées ci-dessus, et admettons que les tables de ces différentes poutres soient de même dimension et que la tension et la compression des différentes pièces soient la même par unité de section. Le calcul et l'épure démontrent que sous la même charge ou, ce qui revient au même, sous un même allongement ou raccourcissement de toutes les pièces, par unité de longueur, les flèches que prendront ces différentes poutres varieront dans une assez grande proportion. Elles pourront être représentées par 26,9; 20,4; 20,2; 18,7; 17,3; la moindre d'entre elles étant celle de la poutre dont les barres sont inclinées à 45°.

Maintenant considérons ces cinq poutres comme n'en formant qu'une seule dont les tables, inférieure et supérieure, soient cinq fois plus résistantes que celles de chaque poutre et dont le treillis soit composé de toutes les barres des cinq systèmes. La poutre ainsi formée n'aura évidemment qu'une flèche, et comme les flexions des poutres sont proportionnelles aux efforts qu'elles supportent, il est évident que tous les systèmes de treillis renfermés dans cette poutre ne supporteront pas la même tension; mais que le système *bb'b''k* qui, comme nous avons vu, prend la moindre flexion sera le plus chargé, et que le système *bcdefghk*, qui correspond à la plus grande flexion, sera le moins chargé. Pour porter la même charge que le système à 45°, il aurait fallu qu'il prît une flèche supérieure à celle de ce système. On peut en conclure que dans une poutre pleine les plus grands efforts de tension et de compression agissent dans une direction inclinée à 45° ou à peu près. Pour déterminer exactement la direction des plus grands efforts, il faudrait rechercher les flexions pour un plus grand nombre d'inclinaisons que nous ne l'avons fait.

Ces considérations font voir qu'une pièce en fer, rapportée sur une paroi pleine avec une inclinaison *bk*, n'ajouterait que fort peu à la résistance de la poutre, ce qui, du reste, résulte clairement des expériences faites par les ingénieurs anglais qui ont construit de grands ponts tubulaires.

Toutes les déductions précédentes ont été vérifiées par les expériences que j'ai faites sur des poutrelles en papier et en carton.

Avant d'aborder l'exposition des expériences, je crois nécessaire d'expliquer pourquoi j'ai choisi le papier et le carton pour la construction des poutrelles expérimentées.

Il n'arrive pas toujours que la personne qui fait les expériences les plus soignées en tire des conclusions rigoureusement exactes (*), et la liste des erreurs commises par les expérimentateurs serait bien longue. La source d'erreurs la plus commune vient de ce que les expérimentateurs tirent leurs conclusions sur les dispositions et dimensions des pièces, de résultats obtenus en poussant les expériences jusqu'à la rupture, bien que ces pièces ne doivent résister qu'à des efforts très-éloignés de la rupture. L'erreur la plus connue est celle du savant anglais Hodgkinson, qui, sur les résultats des expériences poussées jusqu'à la rupture de poutres en fonte, a cru pouvoir conclure que la meilleure distribution de la fonte dans une poutre destinée à supporter la charge dans les limites d'une résistance permanente, consiste à faire la table inférieure de la poutre jusqu'à six fois plus grande que la table supérieure. Il y a des systèmes qui se comportent tout à fait différemment quand ils sont chargés dans certaines limites et quand ils le sont à un point approchant de la rupture.

(*) C'est une forte raison pour recommander l'application de la photographie aux expériences sur les résistances des systèmes de corps.

Un des cas les plus remarquables se présente dans une poutre pleine consolidée par des montants verticaux. Nous avons vu que la charge étant placée sur la partie inférieure de la poutre, ces montants sont tendus quand la charge n'est pas assez grande pour déformer la paroi de la poutre, et que, tout au contraire, les montants verticaux sont comprimés dès que la déformation de la paroi a eu lieu.

Ce ne sont donc pas les phénomènes qui correspondent à la rupture des poutres qui peuvent donner des indications exactes sur la meilleure disposition de la matière employée dans une poutre; pour les obtenir, il faut étudier la direction et la valeur des forces moléculaires qui ont lieu pendant que la charge ne surpasse pas celle que la poutre doit porter d'une manière permanente. Mais pour juger de la direction des forces moléculaires et apprécier leur valeur, il faut que les changements de formes de la matière soient apparents. Si nous pouvions grossir un million de fois les changements qui surviennent dans une poutre, on verrait clairement la distribution des forces, et il serait facile d'en déduire le meilleur emploi de la matière dans la paroi d'une poutre. Faute de pouvoir agir ainsi, j'ai cherché une matière qui, ayant une certaine roideur, présente des changements de formes plus sensibles que cela n'a lieu pour le fer. Je me suis arrêté au papier et au carton pour vérifier les raisonnements et les inductions qui viennent d'être exposées.

Maintenant nous allons aborder les expériences mêmes.

Une petite poutrelle (*fig.* 9), dont la paroi était formée d'un fort papier et les tables horizontales en fort carton, était appuyée par ses deux extrémités et chargée en différents points *a*, *b*, *c*, *d* ..... de poids attachés à la poutrelle au moyen de fils; on augmentait les poids progressivement.

Il fut facile de constater la formation d'ondulations prenant des directions indiquées dans la *fig.* 9 par des lignes pleines. On voit que leur inclinaison augmente à mesure

que l'on approche de leurs extrémités; au centre, elles varient de 45° à 55°; vers les extrémités, elles sont de 20° et 28°. En augmentant les charges, les diverses inclinaisons se sont encore accrues, ainsi que l'indiquent les traits ponctués de la *fig.* 9.

On a pu constater également que les ondulations qui aboutissent aux extrémités *fg*, *f′ g′*, lesquelles extrémités étaient dans des conditions plus favorables pour résister aux efforts de pression, ne changeaient pas de direction malgré les augmentations de charge, tandis que les variations étaient considérables au milieu. Il paraît qu'alors la solidarité entre les tables, supérieure et inférieure, était détruite et que ces dernières pièces travaillaient en quelque sorte isolément, bien avant que la poutre ne fût rompue. On pouvait, du reste, constater une déformation de la paroi que nous avons indiquée sur la figure par une ligne courbe; cette courbe s'allongeait jusqu'à la rupture de la poutre, qui s'est produite si brusquement qu'il a été impossible d'observer dans quelles conditions elle a eu lieu. Nous avons indiqué en trait plus fort sur la figure la section de rupture.

Afin de rendre apparentes les déformations de la paroi sous les différents efforts, on avait préalablement tracé trois circonférences de même rayon sur la paroi de la poutre (*fig.* 10). Des mêmes centres *f*, *e*, *c* on traçait de nouvelles circonférences à chaque addition de poids.

On a pu constater ainsi :

1° Qu'au milieu de la poutre la distance des deux tables augmentait sous la charge;

2° Que les plus grandes déformations de la paroi s'opéraient suivant des lignes *ee′*, *ff′* normales à la direction des ondulations.

Il devenait donc évident que les montants inclinés rendraient de meilleurs services que les montants verticaux.

Pour vérifier encore cette conclusion, on a fait deux

poutrelles de mêmes dimensions; l'une de ces poutrelles était munie de montants verticaux, tandis que la seconde était munie de montants inclinés à 45°. Dans la première poutrelle, les ondulations ont été constatées sous la charge de 10 livres, tandis que la seconde a été chargée de 20 livres, sans qu'aucune ondulation se manifestât. En outre, la flexion était beaucoup plus considérable dans le premier cas que dans le second, bien que les montants verticaux eussent une épaisseur double de celle des montants inclinés.

Deux autres poutrelles, établies dans les mêmes conditions, ont donné les mêmes résultats. La poutrelle à montants inclinés ne montrait aucune ondulation, tandis que la poutrelle à montants verticaux présentait, sous une charge moitié moindre, des ondulations très-marquées suivant les lignes *ab* et *a'b'* de la *fig.* 11 (*). Quand la charge augmentait, des ondulations, parallèles aux premières, se formaient dans toute la longueur de la poutre, suivant les diagonales des carrés formés par les montants verticaux et les deux tables. En même temps, trois ondulations parallèles se sont signalées dans les carrés extrêmes *akbd*. Toutes ces ondulations marquaient les lignes de plus grande tension; il était clair que les montants étaient comprimées, et qu'une paroi de ce type peut être comparée au treillis A (*fig.* 1).

Il était intéressant de savoir quelle était la résistance de la paroi à la rupture et quel était le mode de rupture de la poutre de la *fig.* 11. En augmentant la charge, on a vu que l'ondulation *ab*, *fig.* 12, devenait angulaire vers le point *a*; il était alors facile à prévoir que la rupture aurait lieu en ce point. Effectivement, la charge ayant été portée à 95 li-

(*) Les expériences prouvent que les ondulations ne sont pas produites par les forces de tension qui agissent dans la paroi, comme Clarke l'a supposé; mais que les forces de pression qui s'exercent dans la même paroi ont une part très-active pour opérer les ondulations.

vres, la rupture s'est opérée suivant la ligne $a'c'$; puis la paroi s'est déchirée suivant les lignes ponctuées $a'd$ et de.

S'il n'y avait pas eu de montants verticaux et que la résistance de la paroi à la traction eût été moindre que sa résistance à la compression, la rupture aurait dû avoir lieu suivant la ligne cd, longue de 1.3 pouces; et comme la résistance à la traction, d'une bande de carton d'un pouce de large, avait été trouvée égale à 50 livres, la résistance de la paroi à la rupture par tension eût été $2 \times 1,3 \times 50 = 65$ livres : $\frac{65 \times 2}{\sqrt{2}} = 93$ livres représentent la charge maximum de la poutre correspondant à une parfaite égalité de traction de toutes les fibres de la paroi dans la section cd.

La résistance effective était égale à 95 livres (*).

Le papier employé pour la construction des poutres était très-homogène et les expériences faites sur plusieurs échantillons ont donné approximativement les mêmes résultats.

Une poutrelle à montants inclinés, de même dimension que la précédente, a porté 160 livres; le rapport des charges de rupture de deux poutres était donc $\frac{160}{95} = 1,7$, c'est-à-dire que la résistance de la seconde poutrelle à la rupture était de 70 p. 100 plus grande que celle de la première; en outre, c'est la table inférieure de la seconde poutrelle, qui rompit et non la paroi qui ne donnait aucun signe pouvant faire présager une prompte rupture.

Il est facile d'expliquer pourquoi la paroi à montants

(*) Il est à remarquer cependant que la flexion des tables horizontales supérieure et inférieure qui étaient assez fortes a dû diminuer la force de tension des parois; ce qui explique les chiffres 93 et 95 présentant les charges de rupture calculée et effective; sans l'influence de la flexion des tables, le dernier chiffre serait bien moindre.

inclinés résiste plus à la rupture que celle à montants verticaux : cette dernière n'a, pour ainsi dire, qu'une seule surface de rupture (*cd*, *fig.* 12), tandis que la première poutrelle en a deux ; car les ondulations qui marquent les lignes de plus grande tension n'ont pas les positions *ab* et *cd* (*fig.* 13) comme on pourrait le croire, mais les positions *ad* et *ce* inclinées à 45°; en sorte qu'une partie de la charge totale de la moitié de la poutre est supportée par le bout *ef* de la poutre et une autre partie par le montant *df*.

On peut donc conclure qu'une poutre à montants inclinés peut avoir une paroi de moindre épaisseur que celle qui est nécessaire pour une poutre analogue à montants verticaux, du moins quand il s'agit de la résistance à la rupture.

Les expériences démontrent encore que si dans une poutrelle (*fig.* 14) à montants verticaux formant des quarrés avec les tables, on place des montants intermédiaires, en attachant des poids égaux au bas de chaque montant, les ondulations qui correspondent aux lignes des plus grandes tensions ne vont pas de *a* en *b*, c'est-à-dire ne suivent pas les diagonales des rectangles formés par les tables et les deux montants voisins, mais suivent les lignes *ac* inclinées à 45°. Ainsi, les plus grandes tensions de la paroi ont lieu dans des directions en quelque sorte indépendantes de la distance des montants.

Après avoir constaté, par le raisonnement aussi bien que par l'expérience directe, que la poutre pleine à montants inclinés à 45° présente plus d'avantage que la poutre à montants verticaux, il nous reste à dire quelques mots sur la construction de ces montants.

Dans une poutre pleine, les joints des tôles sont ordinairement verticaux et les montants leur servent en partie de couvre-joints. Il ne serait pas économique de faire les joints inclinés, parce qu'alors il faudrait découper les tôles ; mais, tout en laissant les joints verticaux, il est

facile de disposer les montants en fer à T comme l'indique la *fig.* 15.

Dans le pont d'Aiguillon, on a employé une disposition analogue; mais les parois ont en outre des montants verticaux en fer à T, et les pièces inclinées ne sont employées que comme auxiliaires pour renforcer l'ancien système de poutre pleine.

Nous proposons de modifier les dispositions des parties de poutres pleines suivant les indications précédentes, ce qui pourrait, à notre avis, présenter un avantage sérieux pour la construction des ponts à grandes portées.

N° 263

RACCORDEMENT,

Par deux arcs de cercles tangents entre deux alignements, avec tangentes inégales.

Par M. PHILIPPE BRETON, ingénieur des ponts et chaussées.

M. Endrès a donné par le calcul une solution élégante de ce problème ; j'ai cherché à le résoudre par la géométrie pure, et j'ai trouvé ainsi deux résultats nouveaux d'un usage commode dans la pratique, savoir le lieu des points où les deux cercles qui résolvent la question se raccordent entre eux et la courbe-enveloppe des lignes des centres des deux mêmes cercles. Ces deux courbes étant deux cercles concentriques faciles à tracer, leur emploi facilite notablement l'exécution du dessin

Problème.— On donne deux alignements (Pl. 181, *fig.* 16) qui se terminent en A et B à des distances inégales du point de rencontre T de leurs prolongements; on demande de raccorder ces deux alignements par une courbe composée de deux arcs de cercle qui touchent les alignements donnés à leurs extrémités A et B et qui se touchent entre eux quelque part en R.

Solution graphique. — Autour du centre T on rabat les tangentes TA, TB chacune sur la direction de l'autre en TB', TA'; par les points A et B' on mène des normales au premier alignement, et par A' et B des normales au deuxième alignement; on forme ainsi un losange qui a une de ses diagonales KL située sur la bissectrice de l'an-

gle T; on détermine avec soin le centre O du losange, et l'on inscrit dans cette figure un cercle que nous appelons le *cercle-enveloppe;* du même centre on mène un autre cercle passant par les quatre points A, B', B, A', qui prend le nom de *cercle auxiliaire.*

Le problème étant susceptible d'un nombre infini de solutions, il est commode, pour le dessin, d'avoir le lieu des points de raccordement R et l'enveloppe des lignes des centres qui passent par chaque position du point R.

On va voir que le cercle que nous avons nommé auxiliaire est le lieu des points de raccordement, et que le cercle inscrit dans le losange mentionné ci-dessus est la courbe-enveloppe des normales communes à ces deux arcs passant par R.

En effet, prenons sur l'arc B'B du cercle auxiliaire un point quelconque E, et joignons-le avec les sommets C et D des arcs AB' et BA' du même cercle; prenons ensuite sur ce même cercle et en allant de E vers B un arc ER=CA=DB; les cordes EC, RA sont parallèles à cause de l'égalité des arcs ER et CA; de même les cordes ED, RB sont parallèles, à cause de l'égalité des arcs RE, BD. Si donc on mène par R une parallèle au rayon OE jusqu'à la rencontre en P de la normale au bout A du premier alignement, et jusqu'à la rencontre en Q de la normale au bout B du deuxième alignement, les deux triangles EOC et RPA auront leurs trois côtés parallèles; ils sont donc semblables, et EOC étant isocèle, RPA l'est également. On prouverait de même que RQB est isocèle. Si donc du centre P et d'un rayon PA on décrit un cercle, il passera par R, et de même si du centre Q et d'un rayon QB on décrit un cercle, il passera aussi en R; et ces deux cercles ayant par construction leurs centres sur une même ligne droite passant par le point R qui leur est commun, ils se touchent en ce point. Donc le cercle auxiliaire qui passe par les quatre points A, B', B, A', est bien le lieu des points de raccordement.

Remarquons maintenant que les rayons OE, OC du cercle auxiliaire et leurs parallèles respectives PR, PA, interceptent sur ce cercle des arcs ER, CA égaux par construction; les distances entre ces deux couples de parallèles sont donc égales entre elles, et à la moitié de la différence B'A des deux tangentes données; cette demi-différence est précisément le rayon du cercle inscrit dans le losange; la droite PL touche donc ce cercle inscrit. Ainsi il est bien l'enveloppe de toutes les positions possibles du rayon de raccordement PR.

Les propriétés du cercle auxiliaire et du cercle-enveloppe étant démontrées, on remarquera que les points C, D et E, utiles pour la démonstration, ne le sont point pour la solution graphique. Il suffit de tracer le cercle auxiliaire et le cercle-enveloppe, et de placer comme on voudra une tangente à celle-ci; cette tangente coupera le cercle auxiliaire au point de raccordement R, et les normales en A et B aux alignements donnés, aux centres P et Q de deux arcs qui satisfont à la question proposée.

Le point de raccordement R peut se placer partout où l'on voudra sur le cercle auxiliaire, et l'on trouvera toujours ainsi deux cercles touchant chacun un des deux alignements donnés à leurs extrémités respectives et se touchant entre eux en R; l'examen des divers cas qui peuvent se présenter n'offre que peu d'intérêt et nulle difficulté. Nous remarquerons seulement que, dans les questions pratiques en vue desquelles cette étude a été faite, on a toujours besoin que les deux arcs qui répondent à la question restent en dedans du triangle ATB, ce qui exige que le point R soit entre B', et B. Faisant donc varier ce point entre ces limites extrêmes, nous remarquerons que si R vient en B', le centre P du premier arc s'enfuit à l'infini, et ce premier arc se confond avec la partie AB' du premier alignement prolongé; si R passe en B, le rayon QB du second arc s'évanouit, et l'on n'a plus un vrai raccordement. Nous avons

ainsi tracé les limites extrêmes de l'espace dans lequel se placent toutes les solutions possibles, et nous avons couvert cet espace d'une teinte grise. Le point K de la bissectrice où concourent les normales aux alignements en B' et B est le centre d'une de ces limites; celui H, de l'autre limite, se trouve en menant par B une tangente au cercle-enveloppe jusqu'à la rencontre en H de la normale en A au premier alignement.

De chaque point de raccordement R on peut mener deux tangentes au cercle-enveloppe; il faut prendre celle qui, avec les normales en A et en B aux alignements donnés, complète un triangle circonscrit au cercle-enveloppe. L'autre tangente répond aux cas où les alignements donnés se termineraient en B' et en A'.

L'emploi du cercle auxiliaire et du cercle-enveloppe est très-commode dans plusieurs circonstances, suivant la nature de la condition supplémentaire, qui doit être ajoutée aux conditions ci-dessus pour rendre le problème déterminé. Si la condition supplémentaire consiste, par exemple, à mettre le point de raccordement R à une distance donnée d'un point fixe, on est conduit à tracer un cercle qui coupe le cercle auxiliaire en deux points dont chacun peut servir de raccordement.

Si la condition consiste à faire passer un des arcs par un point donné tel que M situé en dedans du cercle auxiliaire, on fait partir de A un cercle qui touche le premier alignement en A et passe par M; à cet effet, sur le milieu F de AM on élève une perpendiculaire qui va passer par le centre P du premier arc; de ce point, on mène au cercle-enveloppe une tangente, et celle-ci coupe la normale en B au deuxième alignement au centre Q du deuxième arc, et le cercle auxiliaire au point de raccordement R. Si l'on veut faire passer un des deux arcs par un point N situé en dehors du cercle auxiliaire, on détermine d'abord le deuxième arc, en menant une normale sur le milieu G de

la corde BN, et cet arc détermine le point de raccordement, qui peut aussi se trouver à l'aide d'une tangente menée du centre Q au cercle-enveloppe.

Si l'on propose de minimer la différence PQ des deux rayons, la symétrie de la figure montre de suite qu'il faut que le rayon de raccordement soit parallèle à la bissectrice de l'angle T, et l'on mène dans la direction de cette bissectrice une tangente au cercle-enveloppe. On voit que dans ce cas, les deux arcs composant la solution demandée sont semblables.

Si l'on veut que le rayon de raccordement soit normal à la droite AB, on mène dans cette direction une tangente au cercle-enveloppe. C'est presque toujours cette solution qu'il faut prendre quand on a pour but de tracer un contour gracieux qui, à l'œil, paraisse continu.

Mais si l'on demande que les rayons des deux arcs qui composent la solution aient leur rapport le plus près possible de l'unité, la figure ne donne pas (?) une solution prompte et facile, et dans ce cas il serait probablement plus simple de recourir aux formules de M. Endrès.

Dans la pratique on a souvent à remplir des conditions qui s'expriment par une inégalité, comme, par exemple, de n'avoir aucun rayon inférieur à une limite donnée, ou bien de ne pas approcher à moins d'une distance donnée d'un point connu; nous appellerons les conditions de ce genre des *conditions-limites*, et il peut arriver qu'on en ait à remplir deux ou un plus grand nombre. Chaque condition-limite conduira généralement à tracer sur la figure une ligne droite ou courbe qui limitera l'espace dans lequel il faut chercher la solution définitive; on resserrera ainsi successivement l'indétermination du problème.

Il arrive aussi quelquefois qu'on doit considérer diverses conditions inégalement importantes, dont les unes doivent nécessairement être satisfaites d'une manière complète, et les autres avec une tolérance plus ou moins large : alors il

est bon de pouvoir tâtonner rapidement, en essayant une suite nombreuse de solutions, parmi lesquelles on choisit celle qui convient le mieux. Nous citerons notamment le genre de conditions relatif à l'élégance des formes. S'il s'agit de dessiner une courbe qui restera très-apparente dans l'ouvrage que l'on projette, et s'il importe que cette courbe ne choque pas les regards des connaisseurs, il est prudent de se méfier de tout ce qui est calcul et de s'en rapporter exclusivement au coup d'œil. Dans tous les cas semblables, les solutions graphiques l'emportent de beaucoup sur celles que donne le calcul, surtout si le dessin peut s'exécuter rapidement, et si par suite on peut essayer toute la série des solutions admissibles.

Ces observations ne tendent point à diminuer l'utilité des formules; celles-ci, en effet, doivent seules être employées pour donner la dernière précision, même quand le procédé graphique a fourni une bonne solution, les dessins à petite échelle ne pouvant jamais avoir qu'une justesse médiocre quand on agrandit leurs résultats à la grandeur d'exécution des travaux.

PREMIER SUPPLÉMENT AU MÉMOIRE SUR LA SOLUTION GRAPHIQUE DU RACCORDEMENT PAR DEUX ARCS DE CERCLES ENTRE DEUX TANGENTES INÉGALES.

Complément géométrique du problème, et discussion des deux séries distinctes de solutions.

Le problème du raccordement par deux arcs de cercle entre des tangentes inégales doit être résolu dans toute son étendue géométrique pour que l'on puisse, dans les applications, apercevoir d'un coup d'œil toutes les solutions possibles, et choisir facilement celles qui conviennent à l'emploi ultérieur de la solution cherchée.

A cet effet, au lieu de parler d'arcs de cercle, nous demanderons de trouver deux cercles entiers, tels que l'un

touche en A (Pl. 181, *fig.* 17) une droite donnée TA, que l'autre touche en B la droite donnée TB, et que les deux cercles se touchent entre eux quelque part.

Le problème est indéterminé; P étant le centre du premier cercle demandé, Q celui du second, R leur point de contact, on voit de suite que P sera sur la normale en A à TA, Q sur la normale en B à TB, que les trois points P, Q, R seront en ligne droite, et il s'agit de trouver l'enveloppe de *toutes* les positions possibles de la droite PQR, ainsi que le lieu de *toutes* les positions possibles du point de raccordement R.

Pour cela, TA et TB (*fig.* 17) étant prolongés suffisamment dans tous les sens, il faut, autour du centre T, rabattre TA sur la droite TB, *dans deux directions opposées* en TA′ et TA″, de manière que BA′ soit la différence et BA″ la somme des deux distances données TA et TB; autour du même centre T, rabattre de même TB sur la droite TA *dans deux directions opposées* en TB′ et TB″, de manière que AB′ soit encore la différence et AB″ la somme des deux distances TA et TB. Les couples de normales à TA et TB, qui passent par A, B′, B, A′, forment un premier losange, et les couples de normales aux mêmes droites passant par A, B, B″, A″, forment un deuxième losange. Ces losanges ont chacun une diagonale située sur la *croix bissectrice* des quatre angles en T, savoir: le premier sur la bissectrice de l'angle ATB, et le deuxième sur la bissectrice commune des deux angles supplémentaires de ATB. On détermine avec soin les centres O′ et O″ de ces deux losanges semblables, on inscrit dans chacun d'eux un cercle; du premier de ces centres on trace un cercle passant par A, B′, B, A′, et du centre du deuxième losange un cercle passant par A, B, B″A″. L'enveloppe complète de toutes les positions possibles du rayon de raccordement PQR, comprend le *système des deux cercles* inscrits dans les losanges, et le lieu complet des points de raccordement R comprend le *système des*

deux cercles menés par A, B′, B, A′ et A, B, B″, A″. Nous avons donné (*fig.* 16) la démonstration en ce qui concerne le premier cercle-enveloppe et le lieu des raccordements qui lui est concentrique. En plaçant le point E partout où l'on voudra, sur le cercle ABB″A″, et répétant le même raisonnement, en substituant l'accent (″) à l'accent (′), on démontrera de même que le cercle ABB″A″ est aussi un lieu des raccordements, et que le cercle inscrit dans le deuxième losange est aussi une courbe-enveloppe des rayons de raccordement. La seule différence qu'il y ait entre les deux démonstrations, c'est que le rayon du premier cercle-enveloppe est la demi-différence, et celui du deuxième cercle-enveloppe est la demi-somme des tangentes inégales TA et TB.

On a ainsi deux séries distinctes de couples de cercles, satisfaisant à la question. On peut demander s'il existe un ou plusieurs de ces couples qui appartiennent à la fois aux séries. Pour les trouver, il faut prendre pour rayon de raccordement une des quatre tangentes communes au deux cercles-enveloppes. Or, on voit que les normales menées par A et B aux deux alignements donnés sont deux tangentes communes aux cercles-enveloppes, dont l'une passe entre eux, et l'autre les laisse d'un même côté. Ces normales peuvent en effet être prises pour rayon de raccordement pourvu qu'on admette qu'un des deux cercles demandés puisse se changer en ligne droite, auquel cas son centre s'enfuit à l'infini. Dans la *fig.* 17, la normale en A au premier alignement coupe les normales en A′ et A″ au deuxième alignement aux points L′ et L″, et de ces deux centres on peut décrire des cercles qui touchent les deux droites données, l'un en A et A′, l'autre en A et A″, et qui satisfont à la question, en considérant BA′ ou BA″ comme des arcs d'un même cercle de rayon infini.

De même, la normale en B au deuxième alignement coupe les normales en B′ et B″ au premier alignement,

aux points K′ et K″ qui sont les centres de deux cercles touchant les deux alignements donnés en B et B′, en B et B″. Chacun de ces cercles appartient encore à une solution du problème, pourvu que l'on considère AB′ ou AB″ comme des arcs d'un même cercle de rayon infini.

Il reste deux autres tangentes communes aux deux cercles-enveloppes ; il est facile de reconnaître qu'elles passent l'une par le point A, l'autre par le point B ; la première conduit à tracer un cercle qui touche en B le deuxième alignement, et passe par A ; l'autre à tracer un cercle qui touche en A le premier alignement et passe par B. Ce ne sont pas précisément deux solutions du problème proposé, à moins qu'on admette des cercles de rayon nul. Ce sont des limites communes aux deux séries de solution dans lesquelles l'un ou l'autre des deux rayons change de sens en passant par zéro.

En résumant cette partie de la discussion, on voit que quatre solutions du problème ont en commun deux à deux un même cercle de rayon infini, avec des points de raccordement distincts, et deux autres solutions formant les passages d'une série de solutions à l'autre, ont chacune un de leurs rayons qui change de sens en passant par zéro.

Si l'on nomme 2α l'angle ATB, et t et t' les tangentes données TA, TB, les deux losanges ont, pour hauteur, l'une $(t-t')$, l'autre $(t+t')$, et les diagonales K′L′ et K″L″, sont égales l'une à $(t-t')$ sec. α, l'autre à $(t+t')$ cosec. α. Les normales en A et B aux deux alignements donnés se coupent en un point S qui est un sommet commun aux deux losanges, et qui forme un rectangle avec leurs deux centres et le point T, et ce rectangle SO′TO″ a ses côtés, qui sont les moitiés des deuxièmes diagonales des deux losanges, égaux à $\frac{1}{2}(t-t')$ cosec. $\alpha = \mathrm{SO}' = \mathrm{TO}''$, et à $\frac{1}{2}(t+t')$ sec. $\alpha = \mathrm{SO}'' = \mathrm{TO}'$.

Ces deux formules peuvent servir à placer sur la croix

bissectrice des quatre angles en T, les deux centres O′ et O″, dans le cas où l'on voudrait employer le calcul pour donner plus de précision à cette partie de la construction. (Nous remarquerons à ce sujet que très-souvent les meilleures méthodes pratiques sont des *méthodes mixtes* où l'on emploie alternativement, suivant l'opportunité, le dessin et l'arithmétique : les procédés de pure géométrie et ceux de pur calcul ne doivent être employés exclusivement qu'en théorie.)

Et maintenant, si la condition qui rend le problème déterminé consiste en ce que le cercle tangent au premier alignement doit passer par un point donné M (*fig.* 17), la perpendiculaire sur le milieu de MA coupera la normale du point A au centre P′ du premier cercle demandé, qui sera unique; mais ce premier cercle coupera l'auxiliaire qui passe par AB′BA′, en A et en un deuxième point R′ d'où l'on mènera un rayon R′P′, qui, prolongé au besoin, touchera le premier cercle-enveloppe, et rencontrera la normale en B au deuxième alignement au centre Q′ du deuxième cercle. Le premier cercle, dont le centre est P′, coupera de même en A et en un deuxième point R″, le cercle passant par ABB″A″; du point R″ on mènera un rayon R″P′, qui, prolongé au besoin, touchera le deuxième cercle-enveloppe, rencontrera la normale en B au deuxième alignement au centre Q″ du deuxième cercle; le deuxième cercle complétant la solution, aura ainsi les deux positions dont les centres sont respectivement Q′ et Q″, les points de raccordement étant R′ et R″.

DEUXIÈME SUPPLÉMENT AU MÉMOIRE SUR LA SOLUTION GRAPHIQUE DU RACCORDEMENT PAR DEUX ARCS DE CERCLES ENTRE DES TANGENTES INÉGALES.

Application à la description approximative des courbes dont on connaît une suite de points avec leurs tangentes.

PROBLÈME. — *Tracer au compas d'une manière très-satisfaisante à l'œil, une courbe dont on connaît des points éloignés et leurs tangentes faisant entre elles des angles considérables.*

Soit (Pl. 181, *fig.* 18), A, B, C, D, une suite de points d'une courbe, construits d'avance avec leurs tangentes, qui se coupent en S, T, U. Il s'agit de tracer une suite de couples d'arcs de cercles qui passent aux points connus A, B, C, D, en y touchant les tangentes connues, et qui se raccordent en des points dits de *raccordement* R, R', R'' à déterminer; et on demande que la suite d'arcs de cercles que l'on tracera, soit le plus continue possible, que ses rayons changent de la manière la moins perceptible, de telle sorte que, toutes les lignes de construction étant effacées et la suite d'arcs de cercles restant seule, elle fasse à l'œil l'effet d'une courbe continue.

Pour cela, on mène d'abord par les points connus de la courbe, les normales AN, BE, etc., qui se coupent deux à deux aux points E, F, G. Le polygone NEFGD est circonscrit à la développée de la demandée; il faut maintenant écorner ses angles E, F, G, par des droites qui détermineront chacune deux centres d'arcs de cercles sur une des normales connues.

En appliquant notre construction aux raccordements de tangentes inégales (SA, SB), (TB, TC), (UC, UD), on rabat SA sur SB en SA', et SB sur SA en SB', puis TB sur TC en TB'', et TC sur TB en TC', etc. On mène par B' et A' des parallèles à AN et BE, par C' et B'' des parallèles

à BF et CF, etc. On forme ainsi les losanges dans lesquels on inscrit les cercles-enveloppes; soit par exemple le deuxième losange, sur sa diagonale passant par F (*fig.* 19), on prend son intersection H avec le cercle-enveloppe, la plus éloignée de F, et sur cette même diagonale on prend $Ff = \frac{3}{4}$ FH (*). On détermine d'une manière analogue des points *e* et *g* (*fig.* 18), dans l'intérieur des autres cercles-enveloppes. Alors on trace à vue d'œil une courbe passant par les points *e*, *f*, *g*, et touchant en *a*, *b*, *c*, *d*, les normales connues de la couche cherchée. Si les points A, B, C, D, et leurs tangentes et normales connues appartiennent à une courbe continue, et si les opérations antérieures ont été bien exécutées, la développée de cette courbe devant aussi être continue, on doit pouvoir trouver, sur les normales connues, des points *a*, *b*, *c*, *d* situés avec *e*, *f*, *g* sur une même courbe continue à l'œil. Cette développée se trouve ainsi déterminée par une tangente sans le point de contact pour chacun des points A, B, C, D, et par un point sans sa tangente en dedans de chaque cercle-enveloppe. On verra plus loin pourquoi nous faisons entrer la développée dans les cercles-enveloppes. Achevons d'abord la description du procédé.

La développée étant tracée, elle coupe le cercle-enveloppe inscrit dans le losange F, en deux points K, L; une tangente à ce cercle-enveloppe menée parallèlement à KL coupe en P′ et Q′ les normales connues aux points B et C de la courbe demandée; on opère de même pour les autres cercles-enveloppes, et on construit ainsi le polygone NPQP′Q′P″Q″D, dont le sommet P est sur la normale en A, les sommets Q et P′ sur la normale en B, les sommets Q′ et P″ sur la normale en C, etc. Une développante de ce polygone passant par un des points A, B, C, D, passe par tous

(*) Voir la *fig.* 19 qui donne le développement de cette partie de l'opération sur une plus grande échelle, parce que les lettres de renvoi n'auraient pas trouvé place sur la *fig.* 18.

les autres, et touche la courbe demandée à tous ces points.

Supposons que, comme dans l'exemple de la *fig.* 18, les rayons de courbure aillent en décroissant depuis A jusqu'à D. Le vrai rayon de courbure de la courbe en A est $Aa > AP$: Ainsi l'arc AR, passe un peu en dedans de la vraie courbe, en quittant le point A; en B, le vrai rayon de courbure est $Bb < BQ$, donc l'arc BR passe un peu en dehors de la vraie courbe, en allant de B vers R; ainsi la suite de deux arcs ARB touche la vraie courbe intérieurement en A, extérieurement en B. Il y a donc sur la courbe dessinée ARB, un point intermédiaire qui appartient à la vraie courbe; à cet endroit, elle coupe réellement le trait qui doit la remplacer, mais sous un angle imperceptible. De même, en remarquant que BP′ est $< Bb$ et $CQ' > Cc$, on prouverait que le trait BR′C touche la vraie courbe intérieurement en B, extérieurement en C, et la coupe quelque part sous un angle imperceptible. On peut apprécier à fort peu près la valeur de cet angle, en menant du point de raccordement R ou R′ une tangente à la développée; cette tangente passera à très-peu près par *e* ou par *f*, en sorte que l'erreur de direction sera donnée par l'angle compris entre RQP et R*e*, ou entre R′Q′P′ et R′*f*, etc.

Maintenant, expliquons pourquoi la développée vraie doit entrer dans les cercles-enveloppes qui servent à trouver les raccordements par arcs de cercles.

Si *a* et *d* sont les centres de courbure exacts de la vraie courbe en A et en D; il faut que la différence des rayons de courbure $(Aa - Dd)$ soit exactement égale à l'arc *aebfcgd* de la développée vraie, et cette différence doit aussi être égale au contour polygonal *a*PQP′Q′P″Q″*d*; les parties *a*P, QP′, Q′, P″ et Q″*d*, étant des portions de tangentes à la développée, sont plus grandes que les arcs correspondants de cette courbe; il faut que les côtés PQ, P′Q′, P″Q″ du polygone pénètrent en partie en dedans

de la développée, pour qu'elles soient moindres que les arcs correspondants de la courbe, et qu'il y ait compensation. C'est la loi de cette compensation que nous allons démontrer.

Soient (*fig.* 20) ABC, un arc de courbe de faible courbure qui puisse être sensiblement confondu avec l'arc de parabole de même corde et de même flèche, et nommons :

t, une des tangentes extrêmes TA;

f, sa flèche BF, égale à la moitié de TF;

h, la demi-corde AF;

c, la moitié AB de l'arc.

On propose de tronquer l'angle ATB, par une parallèle DE à la corde AC, de manière que le contour polygonal ADEC soit égal à l'arc ABC, ou que la moitié ADG soit égale à la moitié AB de l'arc. (Il est entendu qu'on ne demande pas l'exactitude absolue, mais seulement le degré de justesse que comporte le dessin.)

On a, suivant une formule connue de Navier, en négligeant la quatrième puissance de la pente extrême $\left(\frac{2f}{h}\right)$,

$$c = h\left[1 + \frac{1}{6}\left(\frac{2f}{h}\right)^2\right].$$

D'autre part, $t = \sqrt{h^2 + 4f^2}$, ou bien en développant le radical, suivant les puissances paires de $\left(\frac{2f}{h}\right)$, et se bornant à la même approximation que pour c

$$t = h\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{2f}{h}\right)^2\right].$$

Si l'on nomme φ, la distance inconnue FG, on aura

$$AD = t \cdot \frac{\varphi}{2f}, \quad \text{et} \quad DG = h\left(1 - \frac{\varphi}{2f}\right).$$

Remplaçant t par son expression ci-dessus, et réduisant, il vient :

$$AD + DG = h\left[1 + \frac{1}{2}\,\frac{\varphi}{2f}\left(\frac{2f}{h}\right)^2\right].$$

Enfin, égalant cette expression à celle de c ci-dessus, le facteur commun h disparaît, le terme 1 des parenthèses disparaît, $\left(\frac{2f}{h}\right)^2$ devenu facteur commun disparaît, et il reste simplement

$$\varphi = \frac{2}{3} f.$$

Par suite $BG = \frac{1}{3} f$, et comme la courbe est censée se confondre avec une parabole, on a $TB = f$, d'où il suit que BG doit être le quart de TG.

C'est ainsi que nous rendons dans la *fig.* 19, la ligne brisée $bP'Q'c$, égale à l'arc de courbe $bLfKe$, en prenant Hf, égale au quart de HF.

Remarque. — Pour que le contour ADEC (*fig.* 20) soit égal à l'arc de parabole ABC, il faut prendre à partir de T sur les tangentes TA, TB, des longueurs TD, TE égales à $\frac{2}{3}$ de ces tangentes ; pour compenser les aires au lieu des contours, il faudrait prendre sur ces mêmes tangentes des longueurs TH et TI égales à $\frac{t}{\sqrt{3}}$, ou à $0,577t$, ou ce qui revient au même aux deux tiers de la hauteur d'un triangle équilatéral construit sur la tangente t comme côté, et joindre HI ; le trapèze AHIC est équivalent au segment parabolique, puisque le triangle HTI a le tiers de la surface du triangle ATC. Ainsi les petites lignes DH ou EI, qui séparent sur les tangentes la compensante de l'arc et la compensante de l'aire sont égales à $0,09t$, avec une approximation de moins d'un millième de la tangente t.

N° 264

NOTE SUR L'ÉVAPORATION.

Par M. RUINET, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

Une note publiée dans le 6e cahier des *Annales* de 1850 et signée par M. l'ingénieur en chef Vallès, appelle l'attention des ingénieurs sur une anomalie que présenterait l'évaporation dans les contrées traversées par le canal de Bourgogne.

Partout où des observations ont été faites, jusqu'à présent, sur ce phénomène, on a trouvé que la hauteur du prisme d'eau évaporée était toujours supérieure à celle du prisme d'eau tombée sous forme de pluie ou de neige. Ainsi à Paris, d'après M. Duleau, on aurait de 1m.30 à 1m.50 d'évaporation annuelle pour 0m.50 à 0m.55 de pluie; à Rome, d'après M. de Prony, la hauteur du prisme d'eau évaporée serait de 2m.36, et la hauteur du prisme de pluie ne dépasserait pas le tiers de ce chiffre.

La note de M. Vallès fait remarquer qu'au contraire dans les localités que traverse le canal de Bourgogne, savoir :

A St-Jean-de-Losne,	à 185 mètres au-dessus	du niveau de la mer,
A Dijon.	à 240	*id.*
A Pouilly.	à 400	*id.*

les résumés des observations météorologiques faites de 1839 à 1845, soit pendant sept années, indiquent que l'évaporation est moindre que la pluie.

J'ajouterai que les observations recueillies depuis 1845 jusqu'à 1852, et dont on trouvera ci-dessous le résumé

pour Dijon, montrent que le même fait a continué à se produire.

ANNÉES.	HAUTEUR DES PRISMES D'EAU	
	tombée.	évaporée.
	m.	m.
1846	0.755	0.677
1847	0.686	0.671
1848	0.676	0.636
1849	0.592	0.669
1850	0.638	0.812
1851	0.621	0.525
1852	0.812	0.650
Totaux	4.780	4.640
Moyennes annuelles.	0.683	0.663

Le rapport de l'évaporation à la pluie est 0.97; de 1839 à 1845, il avait été de 0.83; pour la période de quatorze années, de 1839 à 1852, il est de 0.90.

Des erreurs d'observation ne sont pas admissibles; il faut donc reconnaître qu'en moyenne la hauteur d'eau évaporée dans les instruments employés au canal de Bourgogne est inférieure à la hauteur de pluie qui tombe dans les localités où se font les observations.

Faudrait-il en conclure, ainsi que M. Vallès y paraît disposé, qu'en traçant cette voie navigable les ingénieurs ont eu la bonne fortune de rencontrer une ligne d'évaporation minimum? Je ne le pense pas; et je suis même très-porté à croire que l'anomalie que l'on signale dans les résultats obtenus à Dijon, Pouilly, etc., n'est qu'apparente.

Les observateurs qui se sont occupés d'évaporation se sont souvent bornés à donner les chiffres auxquels ils sont arrivés, sans préciser dans quelles circonstances ils avaient opéré. Or, si la quantité de pluie qui est tombée en un point de la surface de la terre est parfaitement déterminée et mesurable avec une précision qui ne dépend que de la perfection de l'udomètre, il faut reconnaître que la hauteur de l'eau qui s'évaporera en un point donné, dans un ap-

pareil, ne résultera pas seulement des circonstances météorologiques, mais dépendra aussi de la forme et des dimensions du bassin avec lequel on opérera. Que l'on place à côté l'un de l'autre, par une forte chaleur, deux vases de grandeurs très-inégales : dans le plus petit l'eau s'échauffera davantage, l'évaporation sera plus forte. Dans celui qui sera moins profond, dans celui qui aura une section horizontale plus faible, l'influence des parois sera plus sensible; or, comme cette influence va en diminuant à mesure que le volume augmente, on peut dire, *à priori*, que, toutes circonstances égales d'ailleurs, dans un bassin d'expériences, l'évaporation obtenue sera d'autant moindre que l'appareil employé sera plus grand.

Au canal de Bourgogne les observations se font avec des bassins ayant 2 mètres au moins de côté; peu d'observateurs en ont eu probablement de semblables à leur disposition, et c'est ce qui explique les chiffres élevés qu'ils ont trouvés. En 1850, étant attaché au canal de Bourgogne, j'avais fait établir à Dijon, à côté du grand bassin de 2 mètres de côté, un autre petit n'ayant que $0^{m}.30$ au quarré. Les deux appareils ont fonctionné à partir du 1[er] mai; pendant tout le mois ils ont été observés simultanément de trois jours en trois jours.

	mèt.
Au 31, le grand bassin accusait une évaporation de.	0.088
le petit bassin accusait une évaporation de.	0.134
Différence.	0.046

On trouvera (Pl. 181, *fig.* 21) des courbes reproduisant toutes les observations du mois; elles indiquent nettement la marche du phénomène. Les courbes pleines réunissent les sommets des ordonnées répondant aux hauteurs réelles d'eau dans les bassins à chaque observation; les ordonnées des courbes pointillées sont la reproduction des premières diminuées des hauteurs de pluie tombée; leurs différences représentent bien par suite l'évaporation.

Ces observations comparatives ont été continuées et ont donné, pour toute l'année 1851, les résultats suivants :

		mèt.
Hauteur du prisme d'eau tombée.		0.62
Hauteur des prismes d'eau évaporée :	Grand bassin.	0.52
	Petit bassin.	0.74

Ainsi, pour cette année 1851, tandis que le rapport de l'évaporation à la pluie était de 0.84, d'après les données du grand bassin, il était de 1.19 en se servant des résultats obtenus avec le petit appareil.

Je crois donc pouvoir avancer qu'il ne s'agit que de choisir ses instruments pour que le canal de Bourgogne ne fasse plus exception. Les expériences qui y ont été faites doivent nous amener à conclure que l'évaporation qui a lieu réellement à la surface d'une grande masse d'eau naturelle, est loin d'être aussi forte que pourraient le faire croire les observations faites en petit.

Dans la même note, M. Vallès exprime l'avis que l'on peut fixer *à priori*, approximativement, à 1.33 le rapport moyen entre l'évaporation et la pluie, en admettant « qu'il « y a équilibre sur notre planète entre les eaux qui s'éva- « porent à la surface des mers et celles qui tombent sous « forme de pluie ou de neige sur la surface entière du « globe (*), » et en remarquant que les mers occupent les trois quarts de cette dernière surface. En d'autres termes, en appelant S la surface de la terre, E la hauteur de l'eau évaporée sur la mer, H la hauteur moyenne d'eau qui tombe sur notre planète, on doit avoir, suivant M. Vallès :

$$\frac{3}{4}S.E = H.S, \quad \text{d'où} \quad E = \frac{4}{3}H = 1.33 \times H.$$

Ne serait-il pas plus exact de dire que le volume de la mer ne devant probablement pas changer sensiblement, il doit y avoir équilibre entre les quantités d'eau perdues

(*) Cette hypothèse suppose qu'on néglige l'évaporation à la surface des continents.

et reçues? Entre les pertes par évaporation et les gains résultant, soit de la pluie qui tombe directement sur la mer, soit des apports des rivières, lesquels doivent être une fonction de ce qui tombe en pluie ou en neige sur les continents? Alors en appelant H, H' les hauteurs d'eau qui tombent sur la mer et sur la terre, on doit avoir :

$$\tfrac{3}{4}\,S.E = \tfrac{3}{4}\,S.H + \alpha\frac{S.H'}{4},\quad \text{d'où}\quad E = H + \frac{\alpha}{3}H'.$$

Le coefficient α exprime le rapport entre le volume d'eau qui tombe sur le sol et celui que les fleuves rendent à la mer; il doit naturellement varier avec la nature géologique des bassins, leur état de culture, leur latitude, etc.

En France, quelques observateurs se sont occupés de le déterminer dans les marnes du lias de l'Auxois. M. l'ingénieur en chef Collin l'a trouvé égal à 0.65.

Les observations faites sur le débit de la Saône à Trévoux, par la commission hydrométrique de Lyon, le fixent à 0.53 pour tout le bassin de cette rivière, en se servant des résultats obtenus pendant sept années, de 1844 à 1850.

Pour le bassin de la Garonne en amont de Marmande, ledit bassin présentant une superficie de plus de 5 millions d'hectares, M. l'ingénieur en chef Baumgarten a trouvé, pour le rapport de l'eau débitée à l'eau tombée, 0.65.

D'après un mémoire de M. Belgrand, publié dans les *Annales* de 1852, il serait de 0.28 pour la Seine en amont de Paris.

Ainsi, dans l'est de la France, les terrains imperméables du lias ne rendent au thalweg que les 0.65 de l'eau de pluie qu'ils reçoivent; 0.35 sont perdus par évaporation immédiate à la surface des végétaux ou par imbibition dans le sol. Les eaux qui ont pénétré dans les couches supérieures du terrain doivent d'ailleurs en disparaître ensuite, soit absorbées par les racines des plantes, soit évaporées à la surface où elles reviennent par capillarité.

Dans les bassins perméables la quantité d'eau qui se rend au thalweg est beaucoup plus faible, ainsi que nous l'indique le chiffre donné ci-dessus pour la Seine. La plus grande partie de l'eau fournie par la pluie pénètre à travers le sol pour ressortir, il est vrai, ailleurs en partie sous forme de sources quand elle rencontrera des couches imperméables, ou pour alimenter les nappes d'eau souterraines comme celles qui fournissent au débit du puits artésien de Grenelle; quelquefois, par suite de l'inclinaison des couches, les eaux infiltrées passeront d'un bassin dans un autre, et quoique perdues pour le bassin sur lequel elles sont tombées, elles pourront ne pas l'être pour les mers. Mais, en tenant compte de toutes ces circonstances, je crois que les résultats trouvés pour de grands bassins comme ceux de la Saône, de la Seine, de la Garonne, comprenant pour ainsi dire tous les étages géologiques, permettent de dire qu'en France les fleuves ne rendent pas à la mer plus de 60 p. 100 de l'eau qui tombe à la surface des bassins qui les alimentent.

Si maintenant nous remarquons que la France est à une latitude moyenne, que par suite de son voisinage de l'Océan, l'atmosphère doit y être plus humide et, par suite, l'évaporation moins forte qu'en s'avançant vers l'est, il me semble que nous pouvons regarder 0.60 comme une valeur maximum du coefficient α s'appliquant à la surface entière des continents, et nous avons alors :

$$E = H + 0.20 \times H'.$$

Je ne connais pas d'observations indiquant quel rapport il existe entre H et H', les quantités moyennes d'eau qui tombent sur la mer et sur les continents; mais je serais très-disposé à admettre que H doit être notablement plus faible que H' qu'il tombe moins d'eau en pleine mer que sur la terre.

La pluie se produit toutes les fois qu'une couche d'air subit un abaissement de température ne lui permettant plus

de tenir en suspension la quantité de vapeur d'eau qu'elle contenait précédemment. Ce refroidissement peut avoir lieu, entre autres manières, soit par suite de l'influence immédiate de la portion de la surface de notre planète au-dessus de laquelle se meut l'air humide, soit par la rencontre d'un autre courant dont la température aura été précédemment abaissée en passant sur des lieux souvent fort éloignés.

Sur les mers, les températures varient beaucoup moins que sur les continents; ainsi, si nous suivons le 40° parallèle dans l'hémisphère nord, nous trouvons qu'à 40° de longitude ouest, à moitié chemin environ entre l'Europe et l'Amérique, la température moyenne passe de janvier à juillet :

De + 10° à + 20°; écart.	10°
A 20° de longitude ouest, les températures moyennes de ces mêmes mois sont + 12°.5 et + 20°; écart.	7°.5
Sur le méridien de Paris, nous avons 8° et 25°; écart. . . .	17°
A 20° de longitude est + 6°.5 et + 23°.75; écart.	17°.25
Enfin à 40° de longitude est + 5° et + 25°; écart.	20°

Entre l'Asie et l'Amérique, la température au-dessus des mers varie encore moins que dans l'océan Atlantique, car du 140° de longitude ouest au 160° de longitude est, l'écart de janvier à juillet sur le 40° parallèle ne dépasse pas 5° et souvent il reste même au-dessous de 3°.

Dans l'hémisphère austral, où l'étendue des mers, comparée à celle des continents, est bien plus considérable que dans l'hémisphère nord, les variations de température sont aussi moins sensibles; ainsi, en suivant encore le 40° parallèle, nous trouvons :

			Juillet à janvier.
Qu'à 160°	de longitude ouest,	la température passe	de + 10°.0 à 15°.0; écart 5°.0
120°	*id.*	*id.*	de + 11°.5 à 15°.0; écart 3°.5
80°	*id.*	*id.*	de + 8°.7 à 15°.7; écart 7°.0
40°	*id.*	*id.*	de + 11°.0 à 20°.0; écart 9°.0
Que sur le méridien de Paris. . . .		*id.*	de + 8°.3 à 15°.0; écart 6°.7
Qu'à 40°	de longitude est.	*id.*	de + 12°.0 à 15°.0; écart 3°.0
80°	*id.*	*id.*	de + 10°.0 à 15°.0; écart 5°.0
120°	*id.*	*id.*	de + 8°.0 à 16°.2; écart 8°.2
160°	*id.*	*id.*	de + 7°.5 à 17°.0; écart 9°.5

Sur les mers, les variations de température sont donc bien moins sensibles que sur les continents; les masses d'air qui circulent au-dessus de l'Océan sont moins exposées à se voir refroidir par l'action de la surface.

Sur terre, les pluies sont fréquemment le résultat d'un refroidissement causé par des courants locaux déterminés par la configuration topographique du sol. Les chiffres que je donnerai plus loin prouveront, je crois, que ce sont surtout ces courants locaux qui influent sur le volume de la pluie. Sur mer, cette cause de précipitation aqueuse disparaît.

En France, quand le vent souffle de la mer, il chasse des masses d'air fortement chargées de vapeurs d'eau; dans l'ouest, et principalement sur le bord des côtes, la température générale, influencée par celle de l'Océan, ne varie que dans des limites assez restreintes, l'air arrivant de la mer n'éprouvera qu'un faible refroidissement; mais, comme il est très-humide, le moindre abaissement de température produira de la pluie; dans ces contrées, on doit avoir des pluies fréquentes, mais peu abondantes.

En avançant vers l'est, l'action régulatrice de l'Océan, au point de vue de la température, va en diminuant; le pays devient plus accidenté; on rencontre les Vosges, le Jura, les Alpes qui, par leur conformation, doivent donner naissance à des courants, souvent très-froids par suite de leur passage sur les neiges. Si l'air qui arrive dans ces contrées, poussé par les vents de mer, est généralement moins humide que dans l'ouest, les abaissements de température qu'il peut subir doivent être considérables; il doit pleuvoir moins souvent que sur le bord des côtes; mais dans certains cas le volume d'eau fourni par une averse doit atteindre des proportions inconnues dans les régions voisines de l'Océan.

Voyons si ces prévisions sont justifiées par les résultats des observations météorologiques.

On divise la France en cinq climats principaux :

Climat du nord-est.	ou Vosgien.
Climat du nord-ouest. . . .	ou Séquanien.
Climat du sud-ouest.	ou Girondin.
Climat du sud-est.	ou Rhodanien.
Climat du midi.	ou Méditerranéen.

D'après M. Martins, les quantités moyennes d'eau qui tombent annuellement sur ces régions sont, en les prenant dans l'ordre où je viens de les citer, $0^m.68$, $0^m.55$, $0^m.586$, $0^m.95$, $0^m.65$. Nous voyons déjà que c'est aux environs des Vosges et des Alpes que les quantités de pluie sont plus considérables.

Dans le climat du nord-est où la moyenne est de $0^m.68$, nous trouvons :

		mèt.
A Nancy, d'après	38 années d'observations.	0.57
A Metz.	9 années d'observations.	0.58
A Mulhouse. . . .	8 années d'observations.	0.75
A Genève.	30 années d'observations.	0.76

C'est dans le voisinage des montagnes que les quantités recueillies sont les plus fortes.

A Nantes, ville comprise dans le climat séquanien, d'après dix-sept années d'observations il tombe annuellement $0^m.668$ de hauteur de pluie, moins qu'à Mulhouse et Genève.

Dans le climat du sud-ouest ou Girondin, la moyenne est de $0^m.586$;

	mèt.
A Bordeaux, d'après 64 années d'observations, elle n'est que de.	0.558
A Pau, au pied des Pyrénées, elle est de.	1.080

Dans cette ville, le 30 mai 1841, on a recueilli, en deux heures trente minutes, $0^m.048$.

Mais c'est dans le climat du sud-est, ou Rhodanien, que nous voyons surtout l'action des montagnes se dessiner nettement.

A l'ouest, nous avons les montagnes du centre de la France, à l'est le Jura, les Alpes; la moyenne est de.	mèt. 0.950
A Lyon.	0.776
A Macon, d'après 16 années d'observations.	0.876
A Bourg, d'après 9 années d'observations.	1.172
A Joyeuse, dans la vallée de l'Ardèche, d'après 25 années d'observations.	1.300
A Viviers.	0.900
A Syam, dans le Jura.	1.630
A Privas.	1.270

C'est aussi dans cette région que l'on a pu noter les plus fortes averses; ainsi à Cuizeaux, dans le Jura, avant les inondations de 1841, on reçut $0^{m}.270$ d'eau en soixante-huit heures; à Joyeuse on mesura $0^{m}.250$ le 9 août 1807, et $0^{m}.792$, en vingt-deux heures, le 9 octobre 1827; à Nantua, au moment des inondations de 1856, il tomba $0^{m}.150$ dans vingt-quatre heures.

Enfin, si nous arrivons au climat Méditerranéen, nous trouvons :

		mèt.
A Marseille, d'après	20 années d'observations.	0.512
A Toulon.	32 années d'observations.	0.505
A Nîmes.	17 années d'observations.	0.640
A Avignon.	24 années d'observations.	0.568
A Alais, pays de montagnes, d'après 36 années d'observations.		0.991
A Montpellier, d'après	46 années d'observations.	0.770
A Carcassonne.		0.728

Après avoir donné ces chiffres, ne sommes-nous pas fondés à admettre que les grands courants généraux de l'atmosphère influent moins sur le volume des pluies que les courants locaux déterminés par la configuration topographique du sol? Et quand nous voyons Bordeaux et Nantes être presque pour la France des lieux où les quantités de pluie sont des minima, y a-t-il témérité à supposer qu'en pleine mer, où les causes de précipitation aqueuse doivent

encore être moindres que sur les côtes, la quantité moyenne de pluie doit être plus faible que sur les continents?

Or si nous revenons à la formule établie plus haut,

$$E = H + 0.20 \times H',$$

nous voyons qu'il suffit que H, la hauteur de pluie moyenne sur les mers, soit moindre que les huit dixièmes de H′, la hauteur moyenne d'eau qui tombe annuellement sur les continents, pour que la hauteur d'eau évaporée annuellement à la surface d'une grande masse d'eau comme l'Océan, soit plus faible que la hauteur moyenne d'eau que reçoivent annuellement les continents.

N° 265

ÉTUDE

De la partie métallique du pont construit sur le canal Saint-Denis, avec tablier en fer de 45 mètres de portée pour le passage de la ligne directe de Paris à Creil.

Par M. MANTION, ingénieur des ponts et chaussées.

1. *Exposé.* — Chargé de la deuxième section de la ligne directe de Paris à Creil, nous avons eu à étudier les dispositions définitives d'un viaduc de 40 mètres de hauteur, à construire à Comelle, dans la forêt de Chantilly. Nous avons dû comparer un projet de viaduc en pierre avec un autre projet comprenant des travées métalliques. Ce dernier a été définitivement abandonné, mais les recherches auxquelles il a donné lieu nous ont conduit à une méthode de calcul que nous avons appliquée aux arcs métalliques du nouveau pont sur le canal Saint-Denis (*).

Nous nous proposons d'exposer, dans cette note, la marche que nous avons suivie, et de justifier les conclusions générales que nous croyons pouvoir en tirer.

2. Les arcs primitivement projetés pour le viaduc de Comelle (Pl. 182, *fig.* 1 et 2) devaient avoir $47^{m}.60$ d'ouverture, et $7^{m}.13$ de flèche. L'ouverture biaise du nouveau pont sur le canal Saint-Denis est de $45^{m}.162$, et la flèche

(*) Cet ouvrage d'art est compris dans la première section confiée à notre camarade M. Salle, et nous ne nous sommes occupé que du calcul et des combinaisons du tablier en fer.

de $4^{m}.708$. Dans les deux projets on a exclu la fonte et admis l'emploi du fer.

3. La pesanteur et les variations de température donnent naissance aux divers efforts que les pièces du tablier doivent pouvoir supporter. En outre, la tendance au flambage, qui se manifeste dans les pièces minces d'une grande portée, conduit à contreventer le tablier; les contrevents ne résistent au flambage que par suite de la réaction de leurs points d'appui, pris sur les pièces du tablier; de là naissent de nouveaux efforts dans ces pièces principales.

4. Nous étudierons successivement les effets de ces trois causes; nous chercherons ensuite à déterminer les sections des pièces de telle sorte qu'elles puissent résister aux plus grands efforts qui doivent se produire; de là nous serons conduit à l'étude des assemblages, et de la fabrication des pièces composées; nous dirons quelques mots, en terminant, de la comparaison des diverses solutions possibles pour l'établissement des arcs en métal.

PREMIÈRE PARTIE.

DES EFFETS DE LA PESANTEUR.

5. *Considérations générales.* — Au point de vue du calcul, on peut réduire à deux systèmes bien distincts les diverses combinaisons qui peuvent être adoptées pour la section longitudinale d'un des arcs ou fermes destinés à supporter le plancher d'un pont.

Dans l'un, toutes les parties de la section sont triangulées, de telle sorte que chaque pièce n'ait à supporter que des efforts dans le sens de sa longueur; les principes les plus élémentaires de la statique suffisent, si la triangulation est simple et si le système est articulé, pour opérer la décomposition des forces et déterminer le travail de chaque pièce : c'est le cas des combles ordinaires en charpente,

des cintres fixes, et des ponts présentant des triangulations analogues à celles des combles.

Dans l'autre, on cherche à donner à une pièce principale, à l'arc, des dimensions qui lui permettent de résister aux efforts transversaux qui tendent à le déformer; c'est le cas des voûtes en pierre ou en métal.

Il n'existe pas, que nous sachions, de méthode de calcul bien satisfaisante pour ce dernier cas. La méthode des courbes de pression laisse à désirer comme nous le verrons bientôt; les calculs faits par plusieurs ingénieurs, et notamment par M. Bresse, sont fondés sur des hypothèses qui ne sont pas toujours admissibles; par exemple, celle d'une répartition uniforme des pressions sur le joint des naissances, et celle qui considère comme cas le plus défavorable la répartition uniforme des surcharges sur toute la longueur du plancher.

Les ressources actuelles de l'analyse nous paraissant insuffisantes, nous avons étudié nos arcs par la méthode graphique des courbes de pression. Toutefois, nous avons été conduit à en restreindre l'emploi, comme on le verra par les considérations qui vont suivre.

6. *Des courbes de pression.* — M. Méry a publié, dans *les Annales des ponts et chaussées* de 1840, un mémoire sur les courbes de pression, d'où résulte clairement l'énoncé suivant : Une section sera suffisante, pourvu qu'on puisse y tracer une courbe de pression telle, que les pressions maxima, les mêmes dans tous les points faibles, ne dépassent pas la limite de charge qu'on s'est imposée.

L'exactitude du procédé n'est pas démontrée. En effet, lorsqu'il s'agit de passer du cas où les matériaux offrent une résistance infinie à celui de la pratique, l'auteur du mémoire dit que toute courbe de pression qui passerait trop près des arêtes ne saurait subsister longtemps, car les matériaux cèderaient et la courbe se trouverait modifiée. Mais, dans la pratique, on ne cherche à faire porter aux

maçonneries que le dixième, aux métaux que le quart de la charge qui produirait l'écrasement; les matériaux ne céderont donc pas sous cette charge, et même sous une charge notablement supérieure. On ne peut donc pas affirmer que la courbe la plus favorable se réalisera, et il peut très-bien se faire qu'en certains points la courbe de pression réelle soit assez rapprochée des limites de la section, pour que la pression diffère peu de celle qui produirait l'écrasement.

On peut, dans une section donnée, les forces extérieures étant connues, tracer une infinité de courbes de pressions possibles. En assignant à la courbe réelle la propriété susénoncée, M. Méry fait disparaître cette indétermination; mais il faudrait démontrer cette propriété.

Sans doute le théorème de Maupertuis, le principe de la moindre action conduisent à penser que la réalité doit peu s'éloigner de l'énoncé de M. Méry; mais il n'y a pas là une démonstration.

La pratique a montré que les ponts étudiés d'après la méthode de M. Méry se comportaient bien. C'est un grand argument en faveur de cette méthode; si elle n'est pas complétement exacte, au moins donne-t-elle une approximation suffisante.

Nous avons cherché les propriétés de la courbe des pressions réelles. Nous n'avons rien trouvé de caractéristique, géométriquement parlant.

7. En appliquant à cette étude le principe des vitesses virtuelles, nous avons trouvé que *la courbe des pressions réelle est telle que la somme des carrés des allongements ou la somme des carrés des forces moléculaires est un minimum.*

8. On arrive aisément à voir que, par suite de cette propriété, la courbe des pressions oscille de part et d'autre de la courbe des centres des sections. On reconnaît que cette courbe doit présenter une grande analogie avec celle

de M. Méry, mais rien ne démontre l'identité de ces deux courbes, et, malheureusement, ainsi que nous le disions, la propriété indiquée ne fournit pas un caractère géométrique.

9. *Application de la méthode de M. Méry aux arcs du viaduc de Comelle.* — Admettons donc, faute d'un caractère géométrique plus certain, que la courbe définie par M. Méry se rapproche suffisamment de la courbe des pressions réelle, et cherchons à appliquer sa méthode à un arc en métal.

Les calculs ont été faits pour les arcs en fer du projet primitif du viaduc de Comelle (Pl. 182, *fig.* 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). La section de ces arcs se composait d'une âme en tôle de $0^m.01$ d'épaisseur, et de quatre rails Barlow du plus grand modèle assemblés deux à deux, et avec l'âme en haut et en bas. La hauteur de ces arcs en différents points était l'inconnue. Vingt-quatre montants espacés de $2^m,40$ s'appuyaient sur l'arc et soutenaient le longeron qui portait les poutrelles. Ces poutrelles recevaient des longrines portant les rails, et un plancher recouvert de $0^m.10$ de ballast. Les tympans ne contribuaient en rien à la rigidité de l'arc qui devait, par suite, se comporter comme une voûte.

10. Dans les voûtes en pierre, on peut généralement ne tracer qu'une ou deux courbes de pression. Le poids mort est toujours considérable relativement au poids roulant; pour le plein cintre, par exemple, les voûtes les plus légères pèseraient huit ou dix fois plus que les surcharges mobiles; l'influence de ces surcharges est donc peu importante.

Il n'en est pas de même dans les arcs métalliques; M. Poirée a calculé qu'au pont actuel du canal Saint-Denis, le poids mort étant 1.03, le poids roulant est 0.78. Dans le pont qui nous occupe, le poids mort étant pris pour unité, le poids roulant en devait être les $\frac{20}{13}$, et le to-

tal $\frac{33}{13}$, L'influence de la surcharge devient donc très-importante.

Il en résulte que lorsque la surcharge est irrégulièrement répartie, on ne saurait admettre que la tangente de la courbe de pression à la clef reste horizontale.

11. Le tracé des courbes de pression dans un arc en métal exige une légère modification de la méthode ordinaire, d'abord parce que les arcs peuvent résister à la tension comme à la compression, et qu'ainsi on ne saurait négliger les parties non comprimées des sections; ensuite parce que la section des arcs n'étant pas rectangulaire, la répartition des pressions, une fois le centre de pression trouvé, ne peut se faire par les formules simples qu'on emploie pour les sections rectangulaires. Nous nous éloignerions trop de notre but en entrant dans des détails sur ce sujet.

12. Nous avons trouvé, après une série de tâtonnements, que nos arcs de $47^m.60$ d'ouverture, et $7^m.13$ de flèche, pouvaient tenir avec une hauteur de $1^m.30$ à la clef, et $1^m.70$ aux naissances.

Les courbes de pression ont été tracées dans six hypothèses :

1° Arc libre ;

2° Arc chargé sur toute sa longueur ;

3° Arc chargé sur trois quarts de sa longueur ;

4° Arc chargé sur moitié de sa longueur à partir de son extrémité ;

5° Arc chargé sur le tiers de sa longueur à partir d'une extrémité ;

6° Arc chargé sur un quart de sa longueur vers la clef.

On a donné, dans les *fig.* 8, 9 et 10 de la Pl. 182, le tracé de trois de ces courbes; elles sont toutes reproduites dans la *fig.* 11.

Ces courbes sont telles, qu'en aucun point la pression

par millimètre quarré, ne dépasse la limite de 6 kilogrammes fixée par l'administration pour les ouvrages en fer.

13. De la comparaison des diverses courbes de pression, il est résulté :

1° Que dans l'hypothèse de la charge complète, la courbe des pressions la plus favorable passe sensiblement par le milieu des sections, et donne une pression de 4 kilogrammes par millimètre quarré à la clef et aux naissances;

2° Que l'hypothèse la plus défavorable est celle de la charge sur une des moitiés de l'ouverture.

14. *De l'influence de l'élasticité.* — La recherche de l'influence de l'élasticité va nous montrer que les choses ne se passeront pas comme l'indiquent les courbes dont nous venons de parler.

Considérons le cas de la charge complète. La courbe de pression que nous avons tracée suit sensiblement la fibre moyenne, en donnant une charge de 4 kilogrammes par millimètre quarré. Il en résulte, sur la longueur totale de l'arc, un raccourcissement de 0.011. L'arc se déformera donc. Nous devons supposer qu'il restera circulaire, puisqu'en chaque section la pression est la même et uniformément répartie.

Or, si nous calculons le rayon du nouvel arc, d'après la condition que la longueur de cet arc soit inférieure de $0^m.011$ à celle de l'arc primitif, et que la corde reste constante, nous trouverons que la flèche sera réduite de $0^m.011$, et l'angle au centre de $0°.6'$. Les joints des naissances tendent donc à s'ouvrir de $3'$ chacun : condition incompatible avec l'indication donnée par la courbe de pression, que le joint des naissances devrait être uniformément chargé.

L'élasticité aura donc pour effet, dans ce cas, de rapprocher le centre des pressions de l'intrados vers les naissances; il devra se rapprocher de l'extrados vers la clef:

c'est-à-dire qu'il se réalisera une courbe totalement différente de celle que nous avons tracée.

La courbe des pressions réelle jouira toujours de la propriété énoncée, et approximativement de celle que toutes les pressions maxima soient égales ; mais ce ne sera pas la plus favorable de celles qui satisfont à cette dernière condition. Ce caractère venant à manquer, nous n'avons plus de règle pour tracer la courbe de pressions : la méthode s'évanouit.

15. Pour avoir une idée de la différence qui existera entre la courbe des pressions réelle et celle que nous avons tracée, nous avons cherché à évaluer la déformation totale dont l'arc est susceptible. Afin de simplifier les calculs, on a substitué à l'arc de section variable et contournée, un arc hypothétique de 1^{m}.50 de hauteur, en double T, dont l'âme fut négligeable. On a déterminé la section des T, de telle sorte qu'on put tracer, dans l'hypothèse de surcharge sur une demi-travée, un courbe de pression ne donnant lieu, en aucun point, à des efforts de plus de 6 kilogrammes. La déformation d'un tel arc doit être très-comparable à celle de notre arc primitif.

On a ensuite cherché la déformation de cet arc, dans ce même cas de surcharge sur une demi-travée, par une méthode approximative dont nous verrons bientôt le degré d'exactitude. Elle consiste (Pl. 182, *fig.* 12 et 16) à diviser l'arc en un certain nombre de parties égales (vingt parties) ; à admettre que, dans chacune d'elles, la résultante des pressions passe à une distance du centre de figure moyenne entre les distances de cette résultante au centre dans les sections extrêmes de chaque partie de l'arc, à déterminer la répartition de l'effort total sur chacun des T supérieur et inférieur ; à calculer, d'après cela, les variations de longueur éprouvées par chacun de ces deux T ; à supposer que cet élément d'arc circulaire conservera encore, après déformation, une forme circulaire, d'où l'on déduit ses

nouveaux rayons et son nouvel angle au centre. En juxtaposant les vingt parties d'arc ainsi déformées, on a approximativement la figure de l'arc déformé.

Ces calculs, très-longs, n'exigent que l'emploi de formules très-élémentaires qu'il nous semble inutile de développer. On a d'ailleurs indiqué la marche suivie dans les *fig.* 12, 17 et 18, Pl. 182.

Nous nous bornerons à dire qu'après cette juxtaposition, la différence entre la nouvelle corde et la corde primitive n'a été que de $0^m.014$, soit moins de 1/3000 ; que la suite des calculs accumule toutes les chances d'erreurs sur ce résultat final ; que d'ailleurs le raccourcissement de l'arc, résultant de sa compressibilité, doit tendre à modifier la longueur de sa corde ; qu'il semble presque certain que les résultats intermédiaires sont exacts, à moins de 1/3000 près.

On peut seulement objecter que la différence de $0^m.014$ est considérable, quand il s'agit pour l'arc d'un changement de $0^m,011$ seulement.

En admettant que cela infirmât l'étude de la courbe déformée, on n'en aurait pas moins, avec une certaine approximation, l'étendue des déformations angulaires ; ce sont les seules qu'on ait besoin de connaître pour arriver à la conclusion que nous exposerons bientôt.

Chacune des vingt parties de l'angle se déformant, son angle au centre varie ; la somme totale des variations, tant dans un sens que dans l'autre, ne dépasse pas 20′, et cependant, en certains points, la pression à l'extrados atteint 6 kilogrammes, et la tension à l'intrados 1 kilogramme ; en d'autres points, c'est à l'intrados que la pression atteint 6 kilogrammes, tandis que l'extrados est légèrement tendu.

16. Comparons maintenant ce cas à celui de la surcharge complète ; ici on demande à l'arc toute la déformation dont il est susceptible ; on obtient 11′30″ de déformation dans un sens, 8′30″ de déformation dans l'autre sens, 20′ de déformation totale, 3′ de différence entre les

déformations de sens contraire; lors donc que nous aurons besoin d'une différence de 6′ entre les déformations de sens contraire pour effacer la réduction qui tend à se produire dans l'angle au centre, pour que l'arc continue à reposer sur toute l'étendue du joint des naissances, il faudra réaliser une courbe de pression s'éloignant considérablement de la fibre moyenne, une courbe de pression n'ayant aucune analogie avec celle que nous avions trouvée.

17. On serait amené à des conclusions plus graves si l'on avait à s'occuper d'arcs plus surbaissés. Dans une première étude du pont sur le canal Saint-Denis, nous avions été conduit à un arc de $1^m.50$ d'épaisseur à la clef; la flèche étant très-faible, le raccourcissement de la fibre moyenne, dans le cas de surcharge complète, donnait lieu à une variation plus grande de l'angle au centre; elle était d'environ 12′. D'autre part, l'arc étant plus surbaissé devait offrir une plus grande roideur, et n'était susceptible que d'une déformation totale d'environ 12′. Il arriverait donc, en réduisant la flèche de plus en plus, un moment où l'arc ne serait plus susceptible de se déformer, de manière à reposer toujours sur toute l'étendue du joint des naissances; alors se produiraient des concentrations de pressions qui amèneraient la ruine de l'ouvrage.

18. *Du joint des naissances.* — Les considérations qui précèdent font ressortir ce qui s'oppose à le réalisation, du moins approximative, de la courbe de pression que donne la méthode de M. Méry; c'est l'*invariabilité de l'inclinaison du joint des naissances.*

Faisons disparaître cette fixité en posant nos arcs sur des cylindres à axe horizontal perpendiculaire au plan des arcs, et alors la méthode de M. Méry redeviendra applicable.

On pourrait encore faire porter les arcs sur des surfaces planes, en les terminant par une partie légèrement bombée; cette solution nous a paru moins propre que la première à assurer la fixité de la position du point d'appui.

19. Mais nous nous trouverons en présence d'une autre difficulté. Toutes les courbes de pression devront alors passer par l'unique point d'appui, et la *fig.* 11, Pl. 182, indique assez que cela conduira à augmenter considérablement la hauteur de l'arc.

On peut obtenir une section suffisante au moyen de divers tracés : le premier qui se présente à l'esprit consisterait à tracer l'intrados et l'extrados avec deux rayons différents, le rayon de l'extrados étant plus petit que le rayon de l'intrados (*fig.* 13), de manière à embrasser entre ces deux arcs une section convenable pour le libre jeu de la courbe des pressions ; mais alors l'épaisseur la plus grande se trouverait à la clef, ce qui est inadmissible, dans le cas particulier du pont sur le canal de Saint-Denis, parce que nous ne disposons que d'une faible hauteur, et le serait dans beaucoup d'autres cas, parce que cette disposition aggraverait notablement les effets de température qui, comme nous le verrons plus tard, sont surtout sensibles vers la clef.

Un autre tracé consisterait (*fig.* 14) à composer l'extrados de deux arcs de cercle de rayon plus court que celui de l'intrados, réunis par une tangente horizontale. On pourrait ainsi ne pas augmenter l'épaisseur à la clef, c'est-à-dire ne pas aggraver les effets de température, tout en donnant à la courbe de pression un espace suffisant pour se mouvoir. Mais ce tracé serait très-disgracieux.

20. La combinaison à laquelle nous nous sommes arrêté, pour le pont sur le canal Saint-Denis, présente de l'analogie avec cette dernière figure, au point de vue du mode de résistance des diverses parties de l'arc ; mais elle en diffère notablement comme aspect. Elle consiste à adopter des tympans triangulés, des tympans rigides. La rigidité de ces tympans équivaut à un excédant d'épaisseur pour les parties latérales de l'arc.

Il résultera de cette disposition que la partie centrale de

l'arc pourra être calculée par la méthode des courbes de pression; nous déterminerons par la statique les efforts qui se développeront dans les parties latérales triangulées, en considérant, faute d'autre méthode, le système comme articulé.

Pont sur le canal Saint-Denis.

21. *Observations préliminaires* (Pl. 183, 184, 185 et 186). — Avant d'entrer dans le détail des calculs, nous devons faire remarquer que, dans des recherches de ce genre, il est impossible de procéder autrement que par la méthode de fausse position. Nous avons dû commencer par déterminer, soit à l'aide de renseignements sur des constructions antérieures, soit après une série de tâtonnements, des dispositions et dimensions à peu près convenables: et c'est alors que nous avons vérifié, comme on va le voir, que le travail des différentes pièces ne dépassait en aucun point les limites pratiques.

Les dispositions du projet une fois dessinées, on doit procéder à certains calculs préliminaires qui fourniront les éléments des opérations suivantes, tels que, 1° la détermination du poids de la construction; 2° celle de la surcharge accidentelle; 3° la répartition de ces poids par mètre courant de tablier, ou par division des longerons; 4° le moment d'inertie d'un rail Barlow, et, par suite, celui des diverses sections des arcs, etc., etc.

22. On trouvera, à la fin de cette note, le résumé de ces calculs et de ceux que nous indiquerons par la suite. En montrant l'application à la suite de la théorie, on fera mieux comprendre certains détails qui ne trouvent pas leur place dans l'exposé; en isolant les calculs, on rendra plus sensible l'enchaînement des idées principales (*).

(*) Les calculs, tableaux et dessins du pont du canal Saint-Denis ont été faits par M. Touron, sous chef du bureau central des études, avec tous les soins imaginables.

23. *Calculs de la partie centrale.* — Nous avons ditt out à l'heure que nous calculerions la partie centrale par la méthode des courbes de pression. Cet énoncé n'est pas complétement exact. Nous ne tracerons pas les courbes; mais nous déterminerons les efforts d'après le même principe, c'est-à-dire en admettant que la répartition du travail s'opère de telle sorte qu'en tous les points faibles le même maximum soit atteint.

Si l'on connaissait dans une hypothèse de charge donnée la position du point d'application de la résultante des pressions, à la clef, on en déduirait aisément la répartition des efforts. En posant nos arcs sur des pivots, en nous donnant les points de passage des réactions des appuis, nous avons réduit l'indétermination du problème; un seul point d'application, à la clef, suffit pour tout déterminer. L'hypothèse susénoncée nous servira à trouver ce point.

24. *Inclinaison et valeur de la résultante à la clef.* — Admettons (Pl. 184, *fig.* 25) qu'il s'agisse du cas de surcharge sur une demi-travée, et prenons arbitrairement un point A à la clef, par lequel nous supposerons que passe la résultante des pressions. (Nous avons d'abord pris pour A le centre de section.)

Soient F cette résultante, dont la direction sera inclinée toutes les fois que les poids des deux demi fermes ne seront pas égaux.

P et p les poids de chaque demi-ferme, toutes charges comprises;

GH et gh les verticales passant par le centre de gravité de chaque demi-ferme;

D et d les distances de ces verticales au centre de leur pivot respectif B et C;

X et x les distances perpendiculaires de ces pivots à la force F.

Chaque moitié de l'arc devra être en équilibre autour de son pivot, sous l'action du poids total P ou p qu'elle sup-

porte et de la résultante F agissant à la clef, c'est-à-dire qu'on aura les équations :

$$PD = FX \quad \text{et} \quad pd = Fx,$$

d'où

$$\frac{PD}{pd} = \frac{FX}{Fx} = \frac{X}{x}.$$

Connaissant ce rapport, on pourrait facilement construire la direction KAM; mais il sera plus simple de la calculer; soit en effet X' et x' les longueurs des verticales passant par les points B et C, depuis ces points jusqu'à la rencontre de la ligne KAM. On aura $\frac{X}{x} = \frac{X'}{x'}$; mais on a de plus $X' + x' = 2f$ en appelant f la distance verticale du point A à l'horizontale GH. De ces deux relations on déduira X' et x' et la direction KAM. Cette direction coupera en certains points G et g les verticales des centres de gravité des deux moitiés du système. En joignant BG et Cg, on aura les directions des réactions des appuis. Le parallélogramme des forces donnera les valeurs de ces réactions et de la résultante à la clef.

25. *Efforts dans les sections voisines.* — La résultante à la clef ainsi déterminée, cherchons à calculer les efforts qui vont se produire dans les sections voisines, dans une section RS par exemple (Pl. 185, *fig.* 14). Nous remarquerons qu'entre la section RS et la clef, la résultante aura à se composer avec le poids de cette portion du système; ce poids peut se remplacer par deux forces verticales; l'une, appliquée dans la section RS, donnera lieu à une tendance au cisaillement, certainement négligeable; l'autre, appliquée à la clef, se composera avec la résultante trouvée, d'où naîtra une nouvelle force résultante passant par le point A. Décomposons-la en deux autres, dont l'une Q, passant par l'axe neutre de la section RS, donnera lieu à une pression uniforme par millimètre quarré q; l'autre P,

parallèle à la section, tendra à la rompre par flexion : on déterminera l'effet de cette deuxième force en considérant la section RS comme encastrée, et par la formule ordinaire, on trouvera que les extrémités de la section subissent un effort maximum q'; $q + q'$ sera l'expression du plus grand travail dans la section RS, dans les hypothèses admises de surcharge et de position du point d'application de la résultante à la clef.

On opérera de même pour un certain nombre de sections à gauche et à droite de la clef. Dans le cas particulier que nous avons supposé, on trouvera deux sections faibles, l'une à gauche, l'autre à droite, suivies de sections moins faibles.

Il est clair que si l'on eût tracé une courbe de pressions partant du point A, elle eût été au plus près de l'extrados et de l'intrados dans l'une et l'autre de ces deux sections.

26. Mais on trouvera que le travail maximum n'est pas le même dans les deux sections : on en conclura donc que le point A a été mal choisi, et on recommencera l'opération pour un autre point. On arrivera généralement dans un deuxième tâtonnement à une position du point A assez approchée de celle qui donnerait des points également faibles de part et d'autre de la clef, et on pourra ne pas pousser plus loin ces recherches.

27. Nous ferons remarquer ici que cette méthode, qui revient à celles des courbes de pression, est plus facile à appliquer que cette dernière dans le cas des arcs métalliques à section plus ou moins irrégulière. En effet, dans les divers tâtonnements, on n'a besoin pour chaque section que de la surface et de son moment de résistance. Tandis que si l'on déterminait par le tracé graphique de la courbe le centre de pression dans chaque section, on serait conduit à des tâtonnements très-longs pour déduire de la position du centre de pression, le travail qui doit se produire aux points faibles de la section. Nous avions employé le tracé

graphique de la courbe des pressions pour l'étude primitive du viaduc de Comelle, et bien que la section étudiée fut moins compliquée que celles qui nous occupent, les calculs de répartition des efforts dans l'étendue de la section étaient d'une longueur effrayante.

On peut encore remarquer qu'en remplaçant la résultante par deux forces, dont l'une passe par le centre de la section et l'autre lui soit parallèle, nous procédons comme on le fait dans les recherches analytiques sur la résistance des pièces soumises à des efforts obliques, etc.

On nous a objecté que la décomposition de forces telle que nous l'effectuons suppose un joint à la clef, tandis que la continuité de l'arc produit un encastrement.

Si cette objection était fondée, il semble qu'en tous cas, on pourrait être rassuré sur la solidité des arcs calculés par cette méthode; ils présenteraient sans doute un excès de résistance, mais il serait difficile d'admettre que des arcs qui doivent tenir avec un joint à la clef, dussent tomber quand la continuité serait rétablie.

Mais l'objection ne nous semble pas fondée. En supposant que la résultante peut s'appliquer en un point quelconque de la section à la clef, point que nous déterminons par tâtonnement, d'après le principe des courbes de pression, nous croyons tenir compte de l'encastrement que produit la continuité de l'arc. En effet, sans rien changer à l'équilibre, on peut ajouter au centre de la section de la clef deux forces égales entre elles et à la résultante, de sens contraire et parallèles à la résultante; alors on pourra considérer le système de la résultante et de ces deux forces comme formant un couple et une résultante passant au centre de la section. La résultante donnera lieu à une pression uniforme par millimètre quarré. Le couple tendra à produire une flexion, comme le fait l'encastrement. (On a tenu compte de l'effet de ce couple dans la représentation du travail de la clef.) (Pl. 184, *fig.* 26).

28. *Diverses positions de la surcharge.* — On pourrait répéter ces calculs pour diverses positions de la surcharge; mais il résulte d'un grand nombre de tâtonnements sur les courbes de pressions du viaduc de Comelle et de l'étude des parties latérales du pont du canal Saint-Denis, que le cas de surcharge sur une demi-travée doit être le plus défavorable pour la partie centrale de l'arc. On peut encore voir assez aisément, par des considérations analytiques, que la résultante à la clef va en s'inclinant de plus en plus quand la charge s'avance vers le milieu du pont, et se rapproche de l'horizontale quand la charge s'étend sur la deuxième moitié du tablier.

On pourra donc se dispenser de considérer d'autres cas, du moins en ce qui concerne l'étude des efforts de la partie centrale. Il faudrait, à la rigueur, étudier chaque hypothèse de surcharge, afin de déterminer le point de passage de la résultante à la clef, pour en déduire ensuite les efforts des parties latérales; mais on pourra, sans erreur sensible, accepter pour ce point une position moyenne : la section à la clef ayant très-peu de hauteur, les petits déplacements dont ce point de passage est susceptible ne sauraient avoir une influence sérieuse sur les efforts qui doivent se produire dans les parties triangulées de l'arc.

29. *Calculs des parties latérales.* — Nous avons vu comment, dans une hypothèse donnée de surcharge, on déterminerait la résultante à la clef, et la réaction des appuis, en direction et en intensité. Pour déterminer les efforts qui se produiront dans les parties triangulées, on partira de cette réaction, et l'on admettra, ainsi que nous l'avons déjà dit, qu'il s'agit d'un système articulé. Cette réaction se décomposera en deux forces, l'une dans le sens de la première division de l'arc, l'autre dans le sens du premier montant. Cette dernière se composera, au sommet du montant, avec les forces verticales résultant du poids mort et

des surcharges sur la première moitié de la première division du longeron, et sur la moitié de la portée du longeron entre ce premier montant et la face de la culée. La résultante sera détruite par la réaction du longeron et de la première diagonale dont les efforts seront ainsi déterminés. L'effort que subira la première diagonale se composera, à son extrémité inférieure, avec celui de la première division de l'arc; la résultante sera détruite par les réactions de la deuxième division de l'arc et du deuxième montant qui se trouveront par là déterminées, et ainsi de suite, on continuera jusqu'au dernier triangle, et l'on arrivera à trouver : pour le dernier montant un effort vertical qui sera détruit par les poids et surcharges qu'il supporte; pour les efforts du longeron et de l'arc, au sommet et à la base de ce dernier montant, deux forces dont la résultante devra, comme vérification, être égale et de signe contraire à la résultante à la clef précédemment déterminée, combinée avec le poids vertical agissant à la clef.

30. Ces constructions graphiques et les calculs relatifs à la partie centrale de l'arc ont été faits dans diverses hypothèses de surcharges :

1° Arc chargé sur 1/4 de sa longueur.
2° Arc chargé sur 1/3 de sa longueur (Pl. 185, *fig.* 1).
3° Arc chargé sur 1/2 de sa longueur (*fig.* 2).
4° Arc chargé sur 3/4 de sa longueur.
5° Arc chargé sur toute sa longueur.

Nous reproduisons seulement les épures des hypothèses 2 et 3, pour réduire le nombre des planches.

31. *Épure récapitulative.* — Arrivé à ce point on pourra indiquer, sur uneépure récapitulative, Pl. 185, *fig.* 3, les plus grands efforts de tension et de compression que chaque pièce des parties latérales ait à supporter par suite des effets de la pesanteur.

DEUXIÈME PARTIE.

DES EFFETS DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE.

32. Si les arcs que nous considérons se dilataient librement, ils conserveraient, malgré les variations de température, une figure semblable à leur figure primitive. L'arc, sa flèche et sa corde croîtraient proportionnellement, et dans un rapport qui se déduirait aisément du coefficient de dilatation du fer. Mais, dans nos arcs, la corde est invariable; la flèche seule peut changer. Lors donc que la température variera, les culées feront le même effet que des forces horizontales, égales et de sens contraire, appliquées aux deux extrémités de la corde qui seraient capables de produire, dans la corde qu'aurait prise l'arc libre, l'allongement ou le raccourcissement nécessaire pour la ramener à sa longueur primitive.

Pour calculer les effets des variations de température, c'est-à-dire ceux des forces horizontales dont nous venons de parler, nous allons chercher le changement de corde et les efforts dans diverses sections que peut produire dans un arc donné une force horizontale donnée, appliquée aux naissances; nous verrons que ces changements de corde doivent être proportionnels aux forces; d'où résultera, pour un changement de corde connu, la détermination de la force horizontale qui pourrait le produire, et des efforts qui en résulteraient dans l'arc. Nous avons besoin d'exposer ici quelques notions préliminaires.

33. Considérons d'abord une poutre droite de section uniforme, dont la longueur soit celle de la projection horizontale de la moitié de notre arc, et dont la section soit celle de ce même arc à la clef. Supposons cette poutre encastrée à l'une de ses extrémités; les formules connues donneront la quantité dont elle peut fléchir sous l'action d'une force verticale appliquée à l'autre extrémité, et le travail maxi-

mum dans chaque section; on trouvera aisément la valeur de la force qui donnerait, dans la section d'encastrement, un travail maximum de 6 kilogrammes par millimètre quarré, et la flèche totale que produirait cette force.

34. Cherchons à déterminer les flèches ou abaissements partiels; divisons la longueur de la poutre en un certain nombre de parties égales, en dix par exemple, et considéron celle de ces parties qui tient à la section encastrée. Soit AB (Pl. 182, *fig.* 19) l'axe de la poutre dans sa position primitive, AC l'axe de la poutre infléchie. La première partie AD a pris la position AE. On peut admettre sans erreur sensible que AE soit une courbe parabolique et que la tangente EF à l'extrémité E coupe la ligne AD en deux parties égales. Supposons d'abord que la partie AE soit seule infléchie, le reste de la poutre conservant sa figure rectiligne, tangentiellement au point E; le point G sera venu se placer en H (il ne s'agit toujours que de mouvements très-petits), le point K en L, etc. Si nous représentons par 1 la longueur DE, on aura :

$$GH = 3, \quad KL = 5, \quad MN = 7, \text{ et ainsi de suite.}$$

Considérons maintenant la partie EH, et admettons qu'elle s'infléchisse seule suivant EP. En appelant $HP = 1$, on aura encore, par les mêmes raisons, $LQ = 3$, $NR = 5$, et ainsi de suite.

On pourra évidemment faire le même raisonnement pour toutes les parties successivement,

Cherchons maintenent le rapport des ordonnées ED, HP, QS, etc., qui représentent l'abaissement de chaque partie de la poutre relativement à la tangente à l'extrémité de cette partie. On sait que dans une poutre droite de section constante, encastrée à une extrémité et soumise à l'autre extrémité à une force perpendiculaire à sa direction, le travail maximum va en diminuant régulièrement d'une extrémité à l'autre, de sorte que, le travail maximum

étant de 60 hectogrammes en A, il est de $\frac{9}{10} \times 60^{\text{hect.}} =$ 54 hectogrammes en E, de 48 hectogrammes en P, de 42 hectogrammes en S, et ainsi de suite. Il est moyennement de 57 hectogrammes dans la partie de poutre AE, de 51 hectogrammes dans la partie EP, de 45 hectogrammes dans la partie PS, etc. Les allongements et raccourcissements des fibres extrêmes dans chaque partie sont proportionnels à ces nombres; il en est de même des angles au centre de chacune de ces parties et de leurs flèches. Les quantités DE, HP, QS, etc., seront donc entre elles comme les nombres 57, 51, 45, etc.

D'après cela, si nous représentons DE par 57, HP par 51, etc., on aura :

$$\begin{aligned}
GH &= 3 \times 57 \\
KL &= 5 \times 57 \\
MN &= 7 \times 57 \text{ et ainsi de suite jusqu'à } BT = 19 \times 57; \\
HP &= 1 \times 51 \\
LQ &= 3 \times 51 \\
NR &= 5 \times 51 \text{ et ainsi de suite jusqu'à } TU = 17 \times 51,
\end{aligned}$$

etc., etc.

On peut donc former le tableau suivant de quantités proportionnelles aux abaissements partiels dus à l'inflexion de chacun des dix éléments.

Travail à chaque point de division. . 0	$0^k.6$	$1^k.20$	$1^k.8$	$2^k.4$	$3^k.0$	$3^k.6$	$4^k.2$	$4^k.8$	$5^k.4$	6^k
Travail moyen sur chaque partie (en hectogrammes).	3	9	15	21	27	33	39	45	51	57
Quantités proportionnelles aux abaissements partiels dus à l'inflexion de chacun des dix éléments de la poutre.	1083	969	855	751	627	513	399	285	171	57
	867	765	663	561	459	357	255	153	51	
	675	585	495	405	315	225	135	45		
	507	429	351	273	195	117	39			
	363	297	231	165	99	33				
	243	189	135	81	27					
	147	105	63	21		1245				
	75	45	15							
	27	9								
	3									
	3990	Total proportionnel au mouvement total du point B ou à la flèche F.								

L'addition des chiffres de la dernière colonne de ce tableau donne un total de 3990, Et de tout ce qui a été dit ci-dessus, on peut conclure que la flèche totale que peut prendre la poutre étant F, la flèche partielle de la partie AD sera de $\frac{57}{3990} \times F$. On en déduirait aisément les flèches partielles en D, G, K, etc. On aurait pu calculer, par les formules connues, la flèche partielle du premier élément; mais la marche que nous venons de suivre rendra plus clair ce qu'il nous reste à exposer.

35. Cherchons maintenant ce que serait cette flèche du premier élément AD, si au lieu d'un travail variant de 6 kilogrammes à $5^k.4$, dans la section de A en D, le travail produit par des forces extérieures était de 6 kilogrammes dans toutes les sections intermédiaires. Pour cela, nous décomposerons cet élément en un certain nombre de parties, en six par exemple, et par des raisonnements analogues à ceux qui précèdent, nous serons conduit aux tableaux suivants des valeurs proportionnelles aux abaissements partiels dus à chacun des six éléments.

	CAS DU TRAVAIL VARIABLE.					
Travail à chaque point de division . . . 54	55	56	57	58	59	60
Travail moyen de chaque partie.	54.5	55.5	56.5	57.5	58.5	59.5
Quantités proportionnelles aux abaissements dus à l'inflexion de chacune des 6 parties.	654.5	535.5	417.5	297.5	178.5	59.5
	526.5	409.5	292.5	175.5	58.5	
	402.5	287.5	172.5	57.5		
	282 5	169.5	56.5			
	166.5	55.5				
	54.5					
	2087.0	Total proportionnel à la flexion du 1er élément de la poutre, sous un travail variant de 6^k à $5^k.4$.				

	CAS DU TRAVAIL CONSTANT.					
Travail à chaque point de division . . . 60	60	60	60	60	60	60
Travail moyen de chaque partie.	60	60	60	60	60	60
Quantités proportionnelles aux abaissements dus à l'inflexion de chacune des 6 parties.	660	540	420	300	180	[illegible]
	540	420	300	180	60	
	420	300	180	60		
	300	180	60			
	180	60				
	60					
	2160	Total proportionnel à l… flexion du 1er élément … poutre, sous un travail … stant de 6 kil.				

De ces deux tableaux on déduit que la flexion du premier élément de la poutre considérée, élément dans lequel le travail maximum va en décroissant de 6 kilogrammes à

$5^k.4$, est à la flexion qu'il prendrait si le travail maximum était de 6 kilogrammes dans toutes les sections, comme 2087 est à 2160.

36. Supposons maintenant qu'au lieu d'avoir une section constante notre poutre droite ait une section variable suivant la même loi que la section de notre arc : on pourra admettre que chaque dixième de cette poutre ait une section constante, moyenne entre les sections extrêmes de cette partie. Le travail maximum dans chaque section sera en raison inverse des moments de résistance des sections. Il en sera de même des allongements et raccourcissements des fibres extrêmes ; et si l'on appelle M le moment moyen de A en D, M′ le moment moyen de D en G, M″ de G en K, etc., on pourra dire que les flèches partielles sont proportionnelles, non plus aux quantités 57, 51, 45, mais aux fractions $\frac{57}{M}$, $\frac{51}{M'}$, $\frac{45}{M''}$, etc.

On arrivera ainsi à composer un nouveau tableau qui ne différera du premier qu'en ce que les lignes horizontales successives auront pour diviseurs M, M′, M″.

Mais le premier tableau nous a donné la flèche du premier élément près de la section encastrée, flèche qui restera sensiblement la même pour un travail maximum de 6 kilogrammes ou qui, du moins, variera à peu près dans le rapport du moment moyen de ce premier dixième d'arc au moment de la section constante primitivement admise. Donc, à l'aide du nouveau tableau dont nous venons de parler et de cette première flèche partielle, nous trouverons la nouvelle flèche totale, c'est-à-dire la flèche totale que peut prendre une poutre droite de section variable.

37. Considérons maintenant la moitié ACDB (Pl. 182, *fig.* 20) d'un des arcs de notre voûte en fer. Supposons la encastrée au point A, et sollicitée au point B par une force verticale, capable de produire en A un travail maximum

de 6 kilogrammes. Divisons-la en dix parties d'égale projection AC, CD.... Dans la portion AC, le travail maximum sera encore sensiblement proportionnel à $\frac{57}{M}$; dans CD, il sera proportionnel à $\frac{51}{M'}$, et ainsi de suite. (Plus exactement, le travail moyen de chaque portion sera en raison directe de sa distance horizontale à l'extrémité de l'arc et en raison inverse du moment de résistance de la section.) Les allongements et raccourcissements des fibres extrêmes seront dans le même rapport, ainsi que les variations des angles primitifs de ces portions d'arc. On pourra donc encore dire que les déplacements des extrémités de chaque portion d'arc sont proportionnels aux quantités $\frac{57}{M}$, $\frac{51}{M'}$, $\frac{45}{M''}$, $\frac{39}{M'''}$, etc.

38. Considérons enfin ce même arc soumis à des forces horizontales à ses deux extrémités. Divisons toujours la moitié de l'arc en dix parties d'égale projection AC, CD (*fig.* 20); soit BH la force horizontale appliquée au point B, la tangente en A restera horizontale; pour établir les relations d'équilibre, il faudra écrire que les moments des forces développées dans les sections moyennes M, O, Q, etc., sont égaux aux moments de la force BH par rapport à ces mêmes sections. Or les moments de la force BH par rapport à M, O, Q... sont proportionnels aux bras de levier ou ordonnées MN, OP, QR... On pourra donc dire encore que les allongements ou raccourcissements des fibres extrêmes, les variations des angles au centre et les accroissements de flèche sont proportionnels à $\frac{MN}{M}$, $\frac{OP}{M'}$, $\frac{QR}{M''}$, etc.

39. Mais si, dans le cas d'une poutre droite et de

mouvements très-petits, nous avons pu supposer, sans erreur sensible, que les abaissements dus séparément à l'inflexion de chacune des parties de la poutre s'additionnaient sur une même verticale, il n'en sera pas de même dans l'arc de cercle.

Lorsque la première partie AC (Pl. 182, *fig.* 20) de notre arc s'infléchira de telle sorte que C vienne en C′, la tangente C′E passera encore sensiblement au point E, ainsi que la tangente CE, le point E étant le milieu de AK. Si l'on suppose d'abord que le reste de l'arc conserve sa courbure primitive, il est évident que l'extrémité B se déplacera en B′ en pivotant autour du point E, que le déplacement BB′ se fera perpendiculairement à BE, et qu'on aura BB′ : CC′ : : BE : CE. On fera un raisonnement analogue pour la deuxième partie de l'arc et pour les autres, et l'on sera conduit, pour obtenir le déplacement définitif du point B, à la construction suivante :

1° Mener par tous les points de division successifs C, D, E .. des tangentes à ces points. Les points de rencontre E, F, G, etc., des tangentes voisines seront les centres de rotation successifs du point B.

2° Joindre ces points de rencontre E, F, G... au point B. Les déplacements du point B dus à l'inflexion des parties AC, CD, DE, etc., de l'arc, seront à ces inflexions dans le rapport des distances BE, BF, BG, etc., à la longueur des tangentes correspondantes CE, DF, TG, etc.

3° Le déplacement de B, dû à l'inflexion de CD, se fera sur une perpendiculaire à BF. Le déplacement de B, dû à l'inflexion de DT, se portera, à la suite du précédent, perpendiculairement à BG, et ainsi de suite.

40. Au moyen de ce qui précède, on pourra donc déterminer pour un arc donné :

1° La flèche totale que prendrait une poutre droite de section pareille à celle de la clef, de longueur égale à la demi-corde de la fibre moyenne, encastrée et soumise à une

force verticale appliquée à l'extrémité de manière à produire un travail maximum de 6 kilogrammes ;

2° La flèche que prendrait le premier élément de l'arc sous l'action de cette même force verticale ;

3° La flèche que prendrait ce même élément sous l'action d'une force horizontale appliquée à l'extrémité de l'arc de manière manière à produire un travail de 6 kilogrammes à la clef (l'action de cette force donnant lieu sensiblement à un travail constant dans le premier élément);

4° Et enfin, le déplacement total dont l'extrémité de l'arc soit susceptible sous l'action de cette même force horizontale.

41. Remarquons maintenant que, dans tous les calculs et constructions graphiques que nous avons indiqués, tous les déplacements partiels sont proportionnels à la force appliquée à l'extrémité de l'arc ; il en est de même du déplacement total.

D'où résulte évidemment que, connaissant le déplacement total dont l'extrémité de l'arc est susceptible sous l'action d'une force horizontale produisant un travail de 6 kilogrammes à la clef, on aura, par une simple proportion, le travail à la clef qui serait produit par une force horizontale capable de raccourcir la corde d'une quantité donnée, c'est-à-dire le travail à la clef qui résulterait d'une variation de température donnée tendant à produire dans la corde un allongement facile à déterminer.

Les tableaux que nous avons donnés fourniront ensuite, en fonction du travail à la clef, le travail produit dans chaque section par la même variation de température.

42. Cette analyse n'est pas complétement exacte, d'abord par la méthode même qui, en employant des différences finies, n'offre qu'un certain degré d'approximation, et ensuite parce que l'action de la force horizontale, qui équivaut aux culées, produirait, outre la tendance à la

flexion dont nous nous sommes occupé, une certaine pression uniforme sur les sections considérées; mais on peut voir, par les applications, que cette pression est négligeable comparativement à celles qui résultent de la pesanteur, et nous avons cru inutile de compliquer les calculs en cherchant à en tenir compte. Voici le tableau des calculs qui avaient été faits pour le projet primitif, c'est-à-dire pour le viaduc de Comelle.

Tableau des calculs servant à déterminer :

1° Le mouvement total qu'il serait nécessaire de faire subir aux extrémités de l'arc pour produire à la clef un travail maximum de 6 kil.
2° Le travail éprouvé par chaque voussoir pour une variation de 25° dans la température de l'arc.

Résultats fournis par une poutre droite de 24m.25 de portée, ayant la section de l'arc à la clef, supposée encastrée en A et sollicitée en B par un effort vertical P capable de produire à l'encastrement un travail maximum de 6 kil.

P	F	f	f'
$P=\frac{RI}{Lr'}=\frac{6.000.000\times 0.0113614}{24.25}$ d'où $P=3.368^k.41$	Flèche totale prise par le point B $F=\frac{PL^3}{3EI}=\frac{3368.41\times 24.253}{3\times 20.000.000.000\times 0.08849}$ d'où $F=0^m.09047$	Flèche du 1er élément de la poutre sous un travail variant de 6^k à $5^k.4$ $f=\frac{0.09047\times 57}{3990}=0^m.001292$	Flèche du 1er élément de la poutre sous un travail constant de 6 k. $f'=\frac{0.001292\times 2160}{2087}=13\,367$

Recherche du mouvement des extrémités de l'arc, capable de produire un travail de 6 kil. à la clef.

Numéros des voussoirs.	Moments de résistance moyens $M\!R\times\frac{RI}{r'}$	Rapport entre le moment de résistance de la clef et celui du voussoir. r	Ordonnée moyenne de chaque voussoir. Y	Rapport entre l'ordonnée moyenne de chaque voussoir et celle de la clef. y	Produit du rapport des ordonnées avec celui des moments de résistance $r.y$	Inflexion prise par l'extrémité de chaque voussoir. $f'ry$	Longueur de la ligne joignant le sommet des tangentes aux naissances. T	Longueur de la tangente de chaque voussoir. t	Rapport entre la ligne qui joint le sommet des tangentes aux naissances et la tangente. $T.t$	Distance parcourue par l'extrémité de l'arc sous la flexion de chaque voussoir. m
clef						mm.				mm
0	0.013614	1.0000	7.18	1.000	1.000	1.336	»	»	»	»
1	0.013852	0.9828	7.15	0.995	0.978	1.306	23,95	1.23	19.471	25.429
2	0.014427	0.9436	7.00	0.974	0.920	1.229	21.60	1.25	17.280	21.254
3	0.015105	0.9013	6.75	0.940	0.847	1.131	19.25	1.27	15.157	17.112
4	0.015789	0.8622	6.30	0.877	0.756	1.010	16.85	1.29	13.061	13.192
5	0.016404	0.8299	5.80	0.807	0.670	0.895	14.40	1.31	10.992	9.845
6	0.016926	0.8043	5.12	0.713	0.573	0.765	12 00	1.33	9.022	6.902
7	0 017533	0.7765	4.30	0.598	0.466	0.622	9.45	1.35	7.000	4.354
8	0.018340	0.7423	3.30	0.459	0.341	0.455	6.85	1.37	5.000	2.275
9	0.019239	0.7076	2.15	0.299	0.212	0.282	4.25	1.39	3.057	0.862
10	0.020146	0.6758	0.80	0.114	0.077	0.103	1.45	1.42	1.021	0.105

Mouvement total de l'extrémité de l'arc pour produire un travail de 6^k à la clef M 101 360

Influences d'une variation de 25° dans la température de l'arc.

Développement du demi-arc normal. L	Allongement du demi-arc pour une élévation de 25°. l	Allongement correspondant de la demi-corde. X	Mouvement vertical de la clef. M'	Travail maximum à la clef. k	Travail maximum sur chaque voussoir. kry
$L=\frac{2\pi R\times 33°16'41''}{360°}=25^m.857$	$l=\frac{25^m.857\times 25}{84.600}=0^m.00764$	$X=\frac{0.00764\times 24.25}{25.857}=0^m.00627$	$M'=\frac{94^{mm}\times 6^{mm}.27}{36}=37$	$=\frac{6^k\times 6^{mm}.27}{36}=1^k.04$	kil.
					1.04
					1.02
					0.96
					0.88
					0.79
					0.70
					0.60
					0.48
					0.35
					0.22
					0.08

43. Dans les calculs qui sont résumés à la fin de cette note, on a admis que, le pont du canal Saint-Denis étant à peu près dirigé du nord au midi, les plus grands écarts de température seraient de 50°, en passant de — 15° à + 35°; on a supposé le calage fait à une température moyenne; et l'on a trouvé que, pour une variation de température de 25°, le travail produit à la clef s'élèverait à 1k.42. On a indiqué dans un tableau le travail qui se produira dans les autres sections de l'arc.

44. Nous devons faire remarquer ici que ces calculs ne sont applicables qu'au cas où les arcs reposent sur des pivots où l'inclinaison des naissances peut varier. Quand le joint des naissances présente une certaine étendue, le même calcul fournit un minimum pour les effets de température; mais ce minimum sera toujours dépassé en réalité. Si l'on suppose, en effet, l'arc dépourvu de pesanteur et changeant de température, l'effet de cette variation sera de faire que l'arc ne repose plus que par des arêtes sur les plans des naissances, en subissant des efforts de même importance que ceux que nous venons de calculer. Si nous rendons à l'arc sa pesanteur, il va tendre à se déformer en raison des concentrations de pression que produirait l'ouverture du joint des naissances; les efforts qui se produiront pour cette déformation s'ajouteront à ceux que nous avons calculés.

Admettons cependant cette hypothèse, plus favorable que la réalité, que le même mode de calcul puisse s'appliquer aux arcs avec ou sans pivots, et cherchons à comparer les deux solutions au point de vue des effets de température. En calculant par la méthode indiquée l'effet d'une variation de température de 25° sur les arcs du projet primitif du viaduc de Comelle, on trouvera un travail de 1k.04 à la clef; mais il faut considérer qu'au canal Saint-Denis la flèche est proportionnellement beaucoup plus faible, ce qui a pour effet de diminuer le déplacement

horizontal dont l'extrémité de l'arc est susceptible. En outre, cette réduction dans la flèche eût exigé, si l'on eût employé le système projeté pour Comelle, un arc d'une plus grande roideur (on avait été amené, dans une première étude, à un arc de $1^{m}.50$ de hauteur à la clef avec une âme de $0^{m}.03$); et l'on eut été conduit finalement, par ces diverses raisons, à des effets de température non calculables, mais certainement supérieurs à ceux que donne la solution adoptée.

Ainsi, en posant nos arcs sur des pivots, nous avons réduit les effets des variations de température, et nous avons pu les calculer; nous avons pu aussi apprécier plus exactement les effets de la pesanteur. On ne peut pas admettre que cela ait conduit à augmenter le poids de la construction; car si l'on construisait les courbes de pression dans un arc sur pivots et dans un arc avec long joint aux naissances, le jeu à donner à ces courbes exigerait à peu près la même surface en élévation dans les deux cas. Nous croyons donc complétement justifiée la disposition que nous avons adoptée.

TROISIÈME PARTIE.

DES EFFETS DU CONTREVENTEMENT.

45. Il résulte d'expériences nombreuses que la charge qu'on peut faire porter à une pièce de section donnée varie considérablement avec la longueur de cette pièce. Lors donc que l'administration fixe un maximum de 6 kilogrammes pour la charge par millimètre quarré qu'on pourra faire porter aux pièces de fer, ce coefficient demande interprétation.

46. On admet généralement qu'un cube de fer s'écrase sous une pression de 40 kilogrammes par millimètre quarré, et qu'il convient de ne pas dépasser dans les constructions le quart de la charge d'écrasement, ou 10 kilogrammes. Partant de là et d'expériences diverses, on peut dresser

le tableau graphique (*fig.* 28) des charges par millimètre quarré qu'on peut faire porter à une pièce rectangulaire, quand sa longueur varie depuis une fois jusqu'à cent fois la valeur du petit côté. Il résulte de ce tableau que la limite de 6 kilogrammes est applicable à une pièce dont la longueur est égale à 15 ou 16 fois le petit côté de la section.

47. Une nouvelle interprétation est nécessaire quand il s'agit de pièces à section contournée. D'après l'analyse de Navier, pour le cas des pièces chargées par leur extrémité, la force qui peut maintenir une pièce fléchie est proportionnelle au moment de résistance de cette pièce. Chaque élément de section résiste alors à deux forces, l'une provenant de la répartition uniforme de la charge totale sur toute la surface, l'autre qui atteint son maximum vers les rives de la section, varie en raison inverse du moment de résistance de la pièce.

Si donc, étant donnée une pièce de section contournee, nous prenons une pièce de même longueur, de section rectangulaire telle que la surface de cette section et son moment de résistance soient les mêmes que ceux de la pièce considérée, ces deux pièces présenteront la même résistance, et la charge que pourra porter la pièce contournée sera la même que celle que porterait la pièce rectangulaire. Mais pour cette dernière, nous connaissons par le tableau graphique la charge par millimètre quarré qu'elle peut porter; on aura donc la charge que peut porter la pièce donnée.

48. Enfin, quand il s'agit de l'assemblage d'un grand nombre de pièces, par exemple des quatre arcs de notre pont reliés par leur contreventement, il est nécessaire de mettre sous une nouvelle forme la loi pratique que contient le tableau graphique.

Quand on dit qu'un prisme de fer de côté a et de la longueur na ne peut supporter par millimètre quarré qu'une partie r de la charge K que porterait un cube de même

côté, cela veut dire que, par suite du défaut d'homogénéité, de l'inégale répartition des charges, des tassements des points d'appui, des vibrations, etc., etc., en un mot de toutes les causes d'erreur de la théorie, il peut se présenter tel cas, où certains points d'une certaine section du prisme travailleraient autant que le ferait le cube sous la charge K; de sorte que si l'on dépassait la charge rK, le prisme céderait. La section la plus faible du prisme est évidemment celle du milieu; on doit donc admettre que dans cette section, diverses forces imprévues pourront employer la résistance $K - rK = K(1-r)$ que la pression due à la charge laisse disponible. Ces forces ne sauraient être des pressions dans le sens de la longueur du prisme, car on peut évaluer exactement la charge à porter; elles équivaudront donc à des forces transversales qui tendraient à faire fléchir le prisme, en produisant aux points extrêmes de la section un travail maximum $K(1-r)$.

Il est facile d'établir un rapport entre ces forces P' et le poids P qui produirait l'effort rK.

Soit a le côté du prisme, on a ;

$$P = a^2 rK,$$

$$\frac{P'}{2} \times \frac{na}{2} = K(1-r) \times \frac{a^3}{6};$$

d'où

$$P' = \frac{2K}{3} \frac{(1-r)a^2}{n},$$

et enfin

$$P' = \frac{2}{3} P \times \frac{1}{n} \times \frac{(1-r)}{r}.$$

Si donc, par d'autres calculs ou considérations on a été conduit à faire porter aux pièces principales une charge r par millimètre quarré, il faudra que le contreventement mette l'ensemble du système dans la même condition qu'une pièce unique dans laquelle le rapport $\frac{1}{n}$ serait déterminé par le coefficient r, et que ce système puisse supporter l'effet de

la force transversale $P' = \frac{2}{3} P \times \frac{1}{n} \times \frac{1-r}{r}$ appliquée en son milieu.

49. La question pourra devenir beaucoup plus compliquée, si la pièce dont on étudie la rigidité est soumise simultanément à des compressions dans le sens de sa longueur, et à des forces transversales donnant naissance à un travail variable dans les différents points d'une même section.

Si ces forces transversales agissent dans le sens de moindre résistance de la pièce, elles s'ajouteront à la force transverse que nous avons étudiée, et on trouvera encore sans difficulté les conditions de résistance de la pièce.

Mais si elles s'exercent dans le sens de plus grande résistance, il en résultera une tendance à la flexion dans le sens perpendiculaire, bien moindre que celle qui proviendrait d'une force qui, dirigée suivant l'axe de la poutre, produirait un travail uniforme par millimètre carré, égal au maximum qui ne sera atteint que sur les rives de la section.

Il faudra alors se contenter d'appréciations dans chaque cas particulier; du moins nous ne connaissons pas de règle générale pour déterminer la rigidité des pièces qui se trouveront dans ces conditions.

50. *Contreventement des arcs.* — Nos quatre arcs seront reliés entre eux par un ensemble de triangles qu'on peut voir sur la Pl. 186, *fig.* 2.

Les calculs antérieurs et un premier tâtonnement sur le contreventement ont fait reconnaître qu'en certains points des arcs, le travail total dû à la pesanteur, aux variations de température et au contreventement pourrait s'élever à près de 7 kilogrammes, et que la réaction la plus grande des points d'appui pouvait s'élever à 188 tonnes par arc. Mais il faut remarquer que dans ce travail maximum d'environ 7 kilogrammes, il y a un travail uniformément ré-

parti dans la section qui ne dépasse pas 3 kilogrammes par millimètre carré; et un travail dû à des forces transversales agissant dans le sens de plus grande résistance, qui est nul au centre de la section, et n'atteint 4 kilogrammes qu'aux extrémités. Il n'atteint que 2 kilogrammes vers l'endroit où les rails Barlow donnent le plus de rigidité à l'arc dans le sens de moindre résistance. Ce travail se produit dans le cas le plus défavorable de surcharge sur une demi-travée. Quand la surcharge est complète, les efforts transversaux disparaissent et le travail uniforme par millimètre carré ne dépasse pas 4 kilogrammes.

Par ces considérations, sans pouvoir justifier complétement notre appréciation, nous croyons pouvoir admettre que la rigidité de l'arc peut être calculée, en supposant qu'il soit soumis à un travail uniforme d'environ 5 kilogrammes par millimètre carré. D'après le tableau graphique, $r = 5$ kilogrammes correspond à $n = 24$. Nos quatre arcs peuvent être considérés, au point de vue du flambage dans le sens horizontal, comme une pièce comprimée à son extrémité par une force de 4×188 tonnes dont la longueur serait vingt-quatre fois le petit côté. On aura donc pour la force transversale que doit pouvoir supporter le système :

$$P' = \frac{2}{3} P \times \frac{1}{n} \times \frac{1 - r}{r},$$

$$P = \frac{2 \times 4 \times 188 \times (10 - 5)}{3 \times 24 \times 5} = 20\,100 \text{ kilog. environ.}$$

Pour étudier les effets de cette force transversale, remarquons : 1° que le contreventement est divisé en deux parties semblables placées au haut et au bas des arcs; 2° que chacune de ces parties peut se subdiviser en trois réseaux de triangles, d'égale importance; 3° qu'en dehors des réseaux de triangles, on a disposé des pièces reliant les sommets aux milieux des portions d'arc libre, et que ces pièces maintiendront constant l'écartement des arcs.

Il résulte de là que le seul rôle de chacun des six réseaux de triangles sera d'empêcher le glissement de l'un des arcs relativement à l'autre, sous l'action d'une force transversale $\frac{P'}{6}$, et qu'on déterminera aisément, par les décompositions de force de la statique, les efforts qui doivent se produire dans les arcs comme dans les contrevents. Une épure récapitulative donnera l'effet total des six réseaux sur les arcs; et l'on en déduira le travail par millimètre carré des diverses sections des arcs dû à la tendance au flambage.

D'autres actions proviendraient de ce que, les réseaux de triangles ne reliant les arcs qu'à des distances trop grandes, on a été conduit, par l'étude des sections, à ajouter des liens entre les sommets des triangles, et les milieux des portions d'arc laissées libres par les réseaux. Ces liens ne donneront de roideur aux arcs qu'à l'aide des réactions des conventrements, qui, eux-mêmes, réagiront sur les arcs. Nous n'indiquons que pour mémoire ces actions qui semblent négligeables.

51. Un calcul analogue pourrait être fait pour le contreventement des longerons.

Les montants seront établis avec assez de rigidité pour n'avoir pas besoin d'être contreventés.

52. *Flexion des longerons.* — Les calculs qui précèdent ont fourni la valeur des efforts de toute nature qui peuvent se produire dans les pièces du tablier, à l'exception d'un seul genre d'efforts, ceux qui résulteront, dans les longerons, du passage des trains sur les poutrelles portant entre deux montants.

Ceux-là se déduiront des formules ordinaires de la résistance des matériaux. Du moment de résistance des diverses sections du longeron, on déduira les plus grands efforts que puisse produire par millimètre carré le passage des trains entre deux montants. Cet effort ajouté à celui qui a été trouvé dans l'étude des effets de la pesanteur,

donnera un effort total auquel la section du longeron devra pouvoir résister.

53. On voit que, dans ces calculs, on n'a tenu aucun compte de l'excédant de rigidité que donneront 1° le tablier en charpente; 2° la longueur de pose sur les pivots; 3° les assemblages d'une certaine longueur. Il est donc certain que les efforts réels seront au-dessous de ceux que nous avons calculés.

QUATRIÈME PARTIE.

ÉTUDE DES SECTIONS.

54. *Sections des arcs.* — On récapitulera, dans un tableau, les plus grands efforts par millimètre carré auxquels puissent être soumises les diverses sections. On cherchera les côtés des rectangles présentant même surface, et même moment de résistance; et on en déduira, comme nous l'avons dit, la longueur sous laquelle ces sections peuvent être employées sans fléchir. C'est ainsi qu'on sera conduit à placer des liens au milieu de chaque triangle du contreventement des arcs.

55. *Sections des longerons*, *des liens obliques*, *des montants*, *des contrevents.* — On procédera de la même façon pour les autres pièces du système, et on trouvera, par des calculs assez longs, mais très-élémentaires, la résistance qu'on leur demande, et celle qu'on pourrait leur demander.

56. On n'a pas tenu compte, dans ces calculs, des effets des variations de température et du contreventement, ce qui eût été à peu près impraticable; mais on a fait ressortir dans une dernière colonne le rapport entre le travail possible et le travail demandé. On y verra qu'il reste une assez grande marge pour les efforts négligés, et les vibrations que la charge roulante imprime facilement aux pièces de faible section.

CINQUIÈME PARTIE.

ÉTUDE DES ASSEMBLAGES.

57. Ici nous entrons dans des détails qui peuvent sembler trop minutieux; aussi notre intention n'était-elle pas d'arriver à effectuer sur ce sujet des calculs précis, mais bien d'indiquer, par des considérations théoriques, la voie qu'on peut suivre, pour se rendre compte de la valeur des assemblages. En ayant des idées nettes sur la manière dont ils résistent, on pourra généralement les établir sans calculs, ou du-moins par les règles les plus élémentaires.

Nous admettrons, jusqu'à plus ample expérience, que les rivets résistent par cisaillement et proportionnellement à leur section. Si on est conduit à reconnaître que les rivets à chaud ne présentent qu'une fraction de la résistance supposée ou que les rivures résistent par frottement, on n'aura qu'à introduire cette fraction ou la valeur de frottement dans nos calculs, et on arrivera sans peine à des formules analogues à celles que nous allons chercher.

Nous admettrons aussi, comme c'est l'usage pour les tôles de faible épaisseur, que le diamètre du rivet soit égal au double de l'épaisseur de la tôle.

Il serait encore facile d'établir de nouvelles formules, si on se donnait une autre relation entre ces deux dimensions.

58. 1° *Pièces soumises à des efforts de traction.* — Considérons une pièce telle qu'on puisse obtenir la section nécessaire au moyen d'une lame prise dans les fers du commerce, mais dont la longueur exige l'assemblage de plusieurs lames. Étudions d'abord l'assemblage par recouvrement au moyen d'une seule file de rivets (Pl. 182, *fig.* 21). Soit l la largeur des lames, e l'épaisseur de la tôle, $d = 2e$ le diamètre des rivets, n le nombre des rivets, $n+1$ le nombre des parties de tôle qui subsistent à côté des rivets après découpure, la force des rivets sera

$n\frac{\pi d^2}{4}$ R $= n\pi e^2$R. La force de la tôle conservée sera $e(l - 2ne)$R. Ces deux quantités doivent être égales pour que le joint soit aussi fort que possible, on aura donc

$$l - 2ne = n\pi e,$$

d'où

$$n = \frac{l}{e}\frac{1}{\pi + 2} = \frac{l}{5e} \text{ environ.}$$

La force de la tôle conservée sera approximativement :

$$l - 2\frac{l}{5e}e = \frac{3}{5}l,$$

c'est-à-dire 0.60 de la force des lames entières.

59. Supposons maintenant un assemblage à l'aide de deux couvre-joints et d'une seule file de rivets sur chaque lame (Pl. 184, *fig.* 27). Pour que l'assemblage cède, il faudra que les rivets soient cisaillés sur les deux faces des lames assemblées. On devra donc écrire, pour calculer le nombre de rivets qui donne la plus grande résistance :

$$l - 2ne = 2n\pi e,$$

d'où

$$n = \frac{l}{e}\frac{1}{(2\pi + 2)},$$

et l'on aura pour la section conservée $l - 2ne = l\left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}l$ environ. La force du joint sera donc les $\frac{3}{4}$ de celle de l'assemblage par recouvrement. Chacun des couvre-joints devra avoir une épaisseur égale à la moitié de celle des lames.

60. Revenons à l'assemblage par recouvrement, et supposons qu'on veuille établir plusieurs files de rivets. Il deviendra difficile d'évaluer la résistance sur laquelle on peut compter quand le nombre des files dépassera deux.

Soient, par exemple, six files de rivets (Pl. 184, *fig.* 16).

Si l'on veut supposer que chacune des files porte le $\frac{1}{6}$ de la charge, on verra aisément que les intervalles successifs entre les files de rivets de l'une des plaques porteraient $\frac{5}{6}$, $\frac{4}{6}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{2}{6}$ et $\frac{1}{6}$ de charge, lorsque les intervalles correspondants de l'autre plaque porteraient $\frac{1}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{4}{6}$, $\frac{6}{5}$. Les intervalles correspondants des deux plaques seraient donc inégalement tendus; ils tendraient à s'allonger inégalement, et il en résulterait que certains rivets seraient très-fatigués quand d'autres ne porteraient presque rien. On ne peut donc pas admettre une répartition de travail uniforme en établissant un grand nombre de files d'un même nombre de rivets entre deux plaques de section uniforme. On pourra approcher plus ou moins du but en faisant varier le nombre des rivets d'une file à l'autre et la section des plaques, mais il semble impraticable de réaiser complétement l'uniformité du travail des rivets, et par suite, de calculer la résistance sur laquelle on peut compter.

61. Quand on se limitera à deux files d'un même nombre de rivets, Pl. 184, *fig.* 17, on voit que l'intervalle des deux files portera moitié charge dans chacune des lames; la répartition des efforts étant alors très-simple, on pourra calculer la disposition qui donnera au joint sa plus grande force. Il faudra écrire que la somme des sections des rivets est égale à la section conservée; n étant le nombre des rivets de chaque file, on aura :

$$l - 2ne = 2n\pi e,$$

d'où

$$n = \frac{l}{e}\frac{1}{2(\pi+1)} = \frac{l}{7e} \text{ environ}, \quad l - 2ne = \frac{3}{4}l \text{ environ}.$$

c'est-à-dire qu'on aura ainsi un joint aussi fort qu'avec le double couvre-joint.

62. On pourra déterminer de même la forme maxima du joint quand on voudra employer deux couvre-joints avec deux files de rivets sur chaque lame. Il faudra alors écrire :

$$l - 2ne = 4n\pi e,$$

d'où

$$n = \frac{l}{e}\frac{1}{2(2\pi+1)} = \frac{l}{14e}, \quad l - 2ne = \frac{6}{7}\, l \text{ environ.}$$

63. En résumé, selon qu'on assemblera les lames à recouvrement avec une file de rivets, à recouvrement avec deux files, ou avec un couvre-joints et une seule file, avec couvre-joints et deux files, on obtiendra une résistance égale à 60, 75 ou 87 p. 100 de celle de la section courante.

Quand on augmentera le nombre des files, on augmentera peut-être la résistance des joints, mais l'élasticité du métal s'oppose à ce qu'on détermine alors exactement le travail de chaque file de rivets, et ce ne sera que par expérience qu'on pourra déterminer la force maxima du joint.

64. Supposons maintenant que l'on ait m plaques juxtaposées, toujours dans l'hypothèse que l'on ne puisse pas obtenir dans le commerce la pièce voulue d'une seule longueur. Un des modes d'assemblages possible consistera à croiser les extrémités de telle sorte qu'en chaque point il n'y ait qu'un joint; on pourra en ce point établir un couvre-joint. Cherchons d'abord la plus grande résistance qu'on puisse obtenir avec une seule file de rivets de chaque côté du joint; remarquons que plus on renforce le joint de la dernière plaque, plus on diminue la résistance des $(m-1)$ autres. Si n est encore le nombre des rivets, les $(m-1)$ plaques continues présenteront une section conservée égale à $(m-1)(le - 2ne^2)$; la dernière ne pourra travailler que proportionnellement à la plus faible des deux quantités $n\pi e^2$, $e(l-2ne)$ dont l'une représente la section des rivets, l'autre la section conservée.

Le travail total dont l'assemblage sera susceptible sera donc proportionnel à

$$(m-1)\,le + n\pi e^2 - 2ne^2(m-1)$$

ou

$$mle - 2mne^2,$$

selon qu'on aura

$$n\pi e^2 \lesseqgtr le - 2ne^2.$$

65. Si l'on a deux plaques à assembler, la force de l'assemblage sera proportionnelle à

$$le + ne^2(\pi - 2)$$

ou à

$$2le - 4ne^2,$$

la première expression s'appliquant au cas de

$$n\pi e^2 < le - 2ne^2,$$

la seconde au cas de

$$n\pi e^2 > le - 2ne^2.$$

Prenons :

$$n\pi e^2 = le - 2ne^2,$$

d'où

$$n = \frac{l}{e}\,\frac{1}{\pi + 2}.$$

La force du joint, suivant la première expression, serait $le\left(1 + \frac{\pi - 2}{\pi + 2}\right)$ soit environ $\frac{6}{5}\,le$. Suivant la seconde, elle sera la même. Ce qui montre que la force du joint, avec une seule file de rivets, sera, à son maximum, égale aux $\frac{6}{10}$ de la force de la section continue, et que, pour obtenir ce résultat, il faudra que la section des rivets soit égale à la section conservée.

Supposons maintenant trois plaques à assembler, la force de l'assemblage sera proportionnelle à

$$2le + ne^2(\pi - 4) \quad \text{ou} \quad 3le - 6ne^2,$$

expression qui sera à son maximum pour $n = 0$.

A plus forte raison, trouverait-on le même résultat pour

un grand nombre de plaques. Ce qui conduit à ne pas faire de joint.

Mais pour que cette conclusion soit juste, il faut supposer qu'entre deux joints on établira la solidarité entre les diverses plaques. Il faudra pour cela un certain nombre de files de rivets longitudinales, et nous avons vu qu'on ne pouvait pas apprécier par des calculs simples l'influence de files de rivets superposées. Si donc on ne veut pas se borner à deux files de rivets, il y aura à demander à l'expérience le nombre des files et l'espacement des rivets de chaque file : quand on se sera assuré de la solution qui assure le mieux la solidarité des diverses plaques, n étant le nombre des files longitudinales, la force de l'ensemble sera $(m-1)(l-2ne)e$.

66. Supposons maintenant deux files de rivets de chaque côté du joint ; en répétant les mêmes raisonnements, on trouvera que la force du joint sera proportionnelle à

$$(m-1)\,le + 2n\pi e^2 - 2ne^2(m-1)$$

ou

$$mle - 2mne^2,$$

selon qu'on aura

$$2n\pi e^2 \lessgtr le - 2ne^2.$$

Si l'on a deux plaques à assembler, la force du joint sera proportionnelle à

$$le + 2ne^2(\pi - 1)$$

ou

$$2le - 4ne^2,$$

selon qu'on aura

$$n(\pi + 1) \lessgtr \frac{l}{2e},$$

soit

$$n(\pi + 1) = \frac{l}{2e},$$

on aura, pour la force du joint, $le\left(1 + \frac{\pi - 1}{\pi + 1}\right)$, soit environ $\frac{3}{2}\,le$.

Si l'on a trois plaques à assembler, la force de l'assemblage sera proportionnelle à

$$2le + 2ne^2(\pi - 2)$$

ou

$$3le - 6ne^2,$$

selon qu'on aura

$$n(\pi + 1) \lesseqgtr \frac{l}{2e}.$$

Si $n(\pi + 1) = \frac{l}{2e}$, la force du joint sera $le\left(2 + \frac{\pi - 1}{\pi + 1}\right) =$ $\frac{3}{4}$ environ de la force de la section courante.

Si l'on avait quatre plaques, on trouverait qu'il est à peu près indifférent de faire un joint ou de n'en pas faire.

Pour cinq plaques, il y aurait encore avantage à ne pas faire de joint, toujours sous la condition d'établir la solidarité entre les diverses plaques dans l'intervalle des joints.

67. On pourra souvent employer un autre mode d'assemblage plus facile à calculer.

On aura rarement plus de cinq plaques à assembler, et nous avons vu qu'à l'aide de couvre-joints sur les deux faces et d'une seule file de rivets de chaque côté du joint, on pourrait conserver les $\frac{4}{5}$ de la force d'une plaque.

Lors donc que d'autres conditions n'exigeront pas que les cinq plaques soient juxtaposées, si, par exemple, il s'agit d'établir de forts tirants, on pourra faire coïncider tous les joints, intercaler quatre couvre-joints et en superposer deux, en imitant la disposition des chaînes de Vaucanson, et conserver les $\frac{4}{5}$ de la force totale, c'est-à-dire $(m-1)\,le$, force supérieure à celle qu'on conserverait en adoptant les joints croisés et établissant la solidarité entre les diverses plaques.

68. 2° *Pièces soumises à des efforts de compression.* — Supposons d'abord qu'il s'agisse de pièces simples d'une seule

longueur entre lesquelles on veut établir la solidarité. Nous avons vu comment on déterminera la section totale en vue d'éviter les flexions latérales de l'ensemble. Pour éviter maintenant les flexions partielles, il faudra relier les pièces en des points assez rapprochés pour qu'aucune d'elles ne puisse fléchir entre deux points d'assemblage. Étant connue, la charge à porter par millimètre carré, et la section de chacune des pièces simples, on en déduira les longueurs sous lesquelles elles peuvent être employées sans fléchir; il suffira de subdiviser la longueur totale, en parties plus petites que ces longueurs limites, et d'assembler les pièces en chacun des points de division pour que toute inflexion partielle devienne impossible.

Si, par exemple, on a à assembler des lames de $0^{m}.01$ d'épaisseur portant 6 kilogrammes par millimètre carré, il faudra que la distance entre deux points d'assemblage ne soit pas supérieure à seize fois l'épaisseur de $0^{m}.01$; les rivets ayant alors $0^{m}.02$ de diamètre, l'intervalle entre les deux trous voisins ne devra pas dépasser $0^{m}.14$, et la distance d'axe en axe des trous sera de $0^{m}.16$.

Si l'on avait à assembler des lames de $0^{m}.02$, on pourrait porter à $0^{m}.32$ l'espacement des rivets.

On voit donc que lorsqu'on aura à composer une pièce travaillant à la compression, d'une épaisseur e, il conviendra de subdiviser le moins possible cette épaisseur, en demandant au commerce les plus forts échantillons qu'il puisse produire.

Si la longueur de la pièce et sa section s'opposent à ce qu'on lui demande un travail de 6 kilogrammes par millimètre carré, chacune des pièces partielles pourra supporter ce travail réduit sous une longueur plus grande. Si, par exemple, on avait des lames de $0^{m}.01$ ne portant que 3 kilogrammes, on pourrait ne les assembler que tous les $0^{m}.50$ environ.

Si, au lieu de pièces planes, on doit assembler des

cornières, des T, des rails Barlow ou autres, on calculera le rectangle qui présenterait même moment de résistance et même section, on verra, d'après la charge par millimètre carré, sous quelle longueur un prisme ayant cette section rectangulaire pourrait être employé sans fléchir; on pourra accepter cette longueur pour l'écartement des assemblages à établir entre les pièces simples.

Généralement, on aura à assembler des pièces simples avec d'autres de forme variée; par exemple, des cornières avec des lames planes. Ce sont ces dernières qui présentent le moins de résistance à la flexion; si donc elles doivent occuper l'une des faces de la section composée, ce qui leur permettrait de fléchir, indépendamment des autres pièces, ce sera leur épaisseur qui déterminera l'espacement des points d'assemblage. Mais alors elles pourront être considérées comme encastrées dans les points d'assemblage, ce qui permettrait de quadrupler l'écartement des rivets. Si, au contraire, les lames planes devaient être comprises entre des pièces plus résistantes, par exemple, l'âme de nos arcs comprise entre des rails Barlow, il faudrait, pour être exact, calculer, comme nous l'avons indiqué, la force qui serait nécessaire pour empêcher cette âme de fléchir sous une longueur donnée, et voir si, sous cette même longueur, les rails Barlow présentent un excédant de résistance à la flexion suffisant pour empêcher la flexion de l'âme toujours considérée comme encastrée.

Quant à la force qu'il faudra donner à l'assemblage, quand on aura déterminé sa position, on l'obtiendrait en supposant qu'une des pièces simples s'infléchit en ce point, entre les deux assemblages voisins, et déterminant la force nécessaire pour s'opposer à cette flexion.

Les rivets qu'on emploie présenteront presque toujours un excès de résistance, et on arrivera bien vite, par habitude, à se passer du calcul pour déterminer la force à donner à l'assemblage.

69. Supposons maintenant qu'il y ait plusieurs des pièces simples qu'on ne puisse pas obtenir d'une seule longueur. Il faudra placer les pièces voisines bout à bout ; au point de vue de la compression, elles résisteraient bien par leur superposition ; mais comme nous avons vu que toute compression déterminait une tendance à la flexion que nous avons calculée, il faudra consolider le joint de manière qu'il puisse résister à cette tendance à la flexion. Les formules connues indiqueront la section des couvre-joints ou sellettes à rapporter, l'effort qu'elles peuvent avoir à subir, et la force d'assemblage qui sera nécessaire.

70. 3° *Pièces se rencontrant sous un certain angle.* — Nous nous occuperons maintenant de l'assemblage de deux pièces se coupant sous un certain angle.

Supposons qu'il s'agisse de lames disposées à angle droit l'une sur l'autre. Si l'on cherche à les assembler au moyen de files de rivets établies à leur rencontre, nous n'avons rien de nouveau à dire pour ce cas ; on pourra encore se rendre compte, par le calcul, de la force du joint, quand on n'emploiera pas plus de deux files de rivets ; il faudra avoir recours à l'expérience quand on dépassera ce nombre.

Mais souvent l'adoption de ces files de rivets multipliées sera rendue impossible par l'emploi de pièces à nervures ne présentant que des méplats peu étendus. Ces méplats ne permettront souvent que l'établissement d'une file de rivets. Si l'on se bornait au nombre de rivets que permet l'étendue des surfaces planes superposées, on n'aurait qu'un joint beaucoup trop faible. On est alors conduit à employer des goussets.

71. Soient ABC, A'B'C' (Pl. 184, *fig.* 31) les goussets établis à la rencontre des pièces AA', BD, B'C. Il est facile de voir que si l'on établit sur chacune des lignes AB, BC, A'B', B'C', B'D, B'D' un même nombre de rivets également espacés, tous ces rivets ne travailleront pas également. On

peut s'en rendre compte par l'hypothèse de ressorts d'égale force remplaçant ces goussets et reliant les points de rivure deux à deux parallèlement aux lignes AC, C'D, D'A'. Ces ressorts, tendus également, tendraient à s'allonger de quantités proportionnelles à leur longueur ou à la suite des nombres 1, 2, 3, 4, 5....., tandis que les distances du sommet du gousset aux points de rivure tendraient à se raccourcir proportionnellement à la somme de ces mêmes nombres pris en ordre inverse ..... 5, 9, 12, 14, 15.

Il semble difficile d'arriver à espacer ces rivets de manière qu'ils travaillent tous également ; dans le doute, il semble prudent d'augmenter le nombre ou la section des rivets qui serait nécessaire, si l'on admettait pour tous ces rivets un travail uniforme. Ce cas présente des difficultés analogues à celles que nous avons rencontrées précédemment, en étudiant l'effet des files de rivets assemblant des pièces bout à bout.

72. *4° Pièces soumises à des efforts perpendiculaires à leur longueur.* — La théorie généralement admise conduit à donner à ces pièces une section analogue à celle d'un double T ; mais là s'arrêtent les indications de cette théorie. Aucune règle précise n'est donnée sur la proportion à observer entre les dimensions de l'âme et celle des T, sur le degré de solidarité à établir entre les différentes pièces, sur le rôle des montants et contreventements, etc. Nous n'avons pas la prétention d'avoir résolu toutes ces questions; nous pensons cependant que les résultats qui suivent présentent un certain intérêt (*).

73. *Des dimensions de l'âme et du nombre des rivets.* — Considérons d'abord une pièce en double T chargée en son

(*) Nous avons entrepris ces recherches au mois de septembre 1856 et nous avions terminé une première rédaction de ce travail dans le courant du mois de février 1857, lorsque, dans les premiers jours de mars, nous avons eu connaissance par la voie des *Annales* des

milieu, et dont le poids soit négligeable relativement à la surcharge. La théorie indique que dans une telle pièce le travail maximum a lieu dans la section verticale du milieu, qu'il va en décroissant uniformément des deux extrémités, supérieure et inférieure, de la section jusqu'au centre, et du milieu de la poutre jusqu'aux points d'appui.

Supposons qu'au lieu d'une pièce unique, on ait une série de pièces horizontales de même longueur (Pl. 184, *fig.* 2) superposées de manière à fournir la même section totale. Lorsqu'on appliquera la surcharge, ces pièces fléchiront isolément, et il se produira un glissement à la surface de contact des deux pièces voisines. Pour revenir au cas de la pièce unique, il faudra établir entre les faces en contact une solidarité telle que le glissement devienne impossible. Considérons la première face de contact à partir du haut de la pièce. La lame supérieure supportera, dans la section verticale du milieu, un effort total de Q kilog. Si le nombre total des ressorts placés à gauche et à droite de cette section centrale est $2n$, on peut dire qu'en face de chaque ressort, l'effort dans la lame supérieure sera :

$$Q, Q \times \frac{n-1}{n}, \quad Q \times \frac{n-2}{n}, \quad Q \times \frac{n-3}{n}, \ldots \quad Q \times \frac{1}{n}, \quad 0,$$

à mesure qu'on s'éloignera de la section centrale.

Cherchons maintenant le travail que produiraient nos ressorts en les supposant tous de même force égale à $\frac{Q}{n}$. Le premier ressort, à partir de la section centrale, produira sur la longueur de la lame supérieure, comprise entre ce ressort et ladite section, un effort de $\frac{Q \text{ kil.}}{n}$. Le deuxième

---

recherches analogues entreprises par M. Jourawski, ingénieur russe. Nous avons cru néanmoins devoir conserver cette partie de nos études qui fournit d'ailleurs, en dehors du principe commun aux deux travaux, quelques données nouvelles sur les pièces composées en fer.

ressort produira sur l'intervalle compris entre sa position et celle du premier ressort un effort $\frac{Q}{n}$, et son effet se fera sentir dans l'intervalle compris entre le premier ressort et la section centrale, intervalle qui subira un effort $\frac{2Q}{n}$; de même le troisième ressort produira un effort de $\frac{Q}{n}$ sur l'intervalle compris entre sa position et celle du deuxième ressort; son effet se fera sentir dans l'intervalle du deuxième ressort au premier, qui portera ainsi $\frac{2Q}{n}$, et dans l'intervalle compris entre le premier ressort et la section centrale qui portera $\frac{3Q}{n}$ et ainsi de suite. De sorte que, finalement, nos n ressorts également espacés, d'égale force, produiront sur les diverses sections, à partir de la section centrale, des efforts $Q\frac{n}{n}$, $Q\frac{n-1}{n}$, $Q\frac{n-2}{n}$, ... $Q\frac{1}{n}$, c'est-à-dire précisément ceux qui sont nécessaires pour que la lame supérieure se comporte comme si elle ne faisait qu'une avec le reste de la pièce.

Si maintenant, au lieu de ressorts d'égale force, nous supposons que la pièce supérieure soit soudée aux pièces inférieures, nous voyons que la cohésion sera mise en jeu avec la même énergie dans chacune des sections verticales qu'on ferait dans l'assemblage des pièces. Les considérations précédentes indiquent donc que, dans le cas examiné d'une pièce chargée en son milieu, et dont le poids est négligeable, si l'on considère une section horizontale, la cohésion sera mise en jeu d'une manière uniforme dans toute l'étendue de la section, et elle devra être capable de résister à un effort égal au plus faible des deux efforts totaux qui se produiront dans la section centrale et verticale de la

pièce au-dessus et au-dessous de la section horizontale considérée.

74. Si l'on considère successivement une série de sections horizontales, en partant de l'extrémité supérieure ou inférieure de la pièce et se rapprochant du milieu, on trouvera que ces sections doivent supporter des efforts de plus en plus considérales; en effet, ces efforts sont égaux à ceux qui se développent dans la plus petite des deux parties de la section verticale centrale, et à mesure que cette plus petite partie augmente, elle supporte, d'après les formules connues, un effort total de plus en plus grand.

75. Quand on s'occupe d'une pièce en double T d'assez grande hauteur, on peut admettre que la lame supérieure supporte uniformément par millimètre quarré de sa section centrale l'effort limite qu'on s'est imposé, 6 kilogrammes par exemple. Si donc S est la section de cette lame, l la longueur de la pièce, e l'épaisseur de l'âme au point où elle se relie aux lames extrêmes, on pourra écrire, avec une approximation suffisante, $S = \frac{le}{2}$; d'où l'on déduirait e, l'épaisseur uniforme de l'âme à ses extrémités supérieure et inférieure.

Bien que les considérations exposées indiquent que l'épaisseur de l'âme, uniforme dans le sens de la longueur, doive croître des extrémités de la section verticale vers son milieu, on lui donnera généralement une épaisseur uniforme. On peut admettre que le travail maximum de cette âme atteigne la limite de 6 kilogrammes aux extrémités supérieure et inférieure de sa section verticale, $2h$ étant sa hauteur, le travail total qui se produirait dans l'une des moitiés serait :

$$h \times e \times \frac{6^k}{2};$$

on déterminera donc l'épaisseur e en écrivant :

$$6^k \times \left(S + \frac{he}{2}\right) = \frac{le}{2} \times 6^k; \quad \text{d'où} \quad e = \frac{2S}{l-h}.$$

D'où l'on déduit cette règle pratique :

Si l'on considère une pièce de section uniforme, chargée en son milieu et dont le poids soit négligeable, l'épaisseur de l'âme doit être égale à la section des deux T divisée par la différence entre la longueur et la demi-hauteur.

76. Il est évident qu'en donnant aux T une section uniforme d'un bout à l'autre de la pièce, on ne tire pas de la matière tout le parti possible. Pour que le travail de ces T fût uniforme dans toute leur longueur, il faudrait leur donner une épaisseur uniformément décroissante du milieu vers les extrémités; il est aisé de faire sur cette hypothèse des raisonnements analogues à ceux que nous avons exposés, et l'on sera alors conduit à donner à l'âme une épaisseur au milieu double de celle que nous avons trouvée, mais uniformément décroissante du milieu vers les extrémités.

77. Jusqu'ici nous avons considéré une pièce simple, c'est-à-dire que les T sont soudés à l'âme. Supposons maintenant que l'assemblage soit obtenu au moyen de rivets et cornières. En considérant d'abord les rivets comme des ressorts et répétant la série de nos raisonnements, on sera conduit aux règles suivantes :

Dans le cas d'une pièce de section uniforme, chargée en son milieu, et dont le poids est négligeable;

1° La section totale des rivets qui relient chaque T aux cornières, doit être égale au double de la section du T diminuée de deux trous de rivets;

2° La section des cornières doit être telle que le produit de leur épaisseur, par leur longueur diminuée des diamètres des rivets, soit égale à la section du T diminuée de deux trous de rivets;

3° La section totale des rivets qui relient les deux cornières à l'âme doit être égale aux sections réunies du T et des cornières diminuées de six trous de rivets;

4° L'épaisseur de l'âme doit être telle que le produit

de son épaisseur par sa longueur, diminuée des diamètres des rivets, soit égal aux sections réunies du T et des cornières diminuées de six trous de rivets.

On en déduirait aussi aisément les règles à suivre pour le cas où la section serait variable.

78. Si au lieu de supposer la charge au milieu, on la supposait en un point quelconque, mais toujours d'une manière fixe, et le poids de la poutre étant toujours négligeable, on serait conduit à des règles analogues; chacune des deux parties de la poutre se comporterait comme une moitié de poutre. Il faudrait alors mettre le même nombre total de rivets, et le partager en deux parties égales de part et d'autre de la charge, de sorte que dans chaque partie l'espacement des rivets serait uniforme; mais l'espacement des rivets de la première partie serait à celui des rivets de l'autre partie, comme la longueur de la première partie est à celle de la seconde.

79. Cherchons maintenant à appliquer les mêmes idées à des cas de surcharge plus compliquée.

Soit, par exemple, Pl. 184, *fig.* 29, une poutre de section uniforme divisée en dix parties égales, et sur laquelle la surcharge puisse occuper successivement neuf positions différentes. Négligeons d'abord le poids de la poutre.

Admettons que la surcharge soit en G et produise en ce point le travail maximum que comporte le fer. Nous ne parlerons ici que des pièces composées; on déduirait aisément de nos règles celles qui s'appliqueraient à une pièce unique. Nous supposerons, pour plus de simplicité, qu'il s'agisse d'une pièce composée d'une âme et de quatre cornières; on en conclurait facilement le cas où l'on emploierait en outre des lames supérieures ou inférieures. Le nombre de rivets, entre A et G, devra être tel que leur section totale soit égale à la moitié de celles des cornières diminuées de deux trous de rivets. Soit n ce nombre; on devra placer le même nombre de rivets entre G et B, de

sorte que dans chacune des divisions GF, FE, etc., il en entrera $\frac{n}{9}$.

Supposons maintenant que la surcharge soit en F, et y produise le même travail maximum, il faudrait de A en F le même nombre n de rivets uniformément répartis, et encore le même nombre de F en B. Les n rivets placés entre A et G travailleront donc à moitié charge, et il faudra en placer $\frac{n}{2}$ entre G et F; il en faudrait $\frac{n}{8}$ entre F et E.

Si la charge est en E, on trouvera de même que les n rivets, placés entre A et G, travailleront à $\frac{1}{3}$ de charge; les $\frac{n}{2}$ rivets placés entre G et F travailleront à $\frac{2}{3}$ de charge; et l'on devra placer $\frac{n}{3}$ rivets entre F et E, et ainsi de suite.

On peut donc écrire d'une manière générale que si une poutre de section uniforme, dont le poids est négligeable, est disposée de manière à ne recevoir successivement les surcharges qu'en certains points de division uniformément répartis, et si ces surcharges sont telles que dans chacune de leurs positions elles produisent dans la poutre le même travail maximum, n étant le nombre des rivets nécessaires dans la première division, il en faudra $\frac{n}{2}$ dans la seconde, $\frac{n}{3}$ dans la troisième, $\frac{n}{4}$ dans la quatrième, et ainsi de suite jusqu'au milieu.

On trouverait de même que l'épaisseur de l'âme doit aller en décroissant des extrémités vers le milieu.

80. Considérons ensuite le cas où la section restant constante, et le poids négligeable, le travail maximum, en chacun des points de division, serait variable. Admettons

qu'il aille en croissant lentement à mesure que la charge s'avance vers le milieu de telle sorte que le maximum soit atteint seulement dans la section centrale. Si le travail en G, F, E, D,..... est t, t', t'', t''',..... et devient T en C, il faudra que le nombre de rivets de A en G soit de $\frac{nt}{T}$; de G en F de $\frac{n}{2}\frac{t'}{T}$, de F en E de $\frac{n}{3}\frac{t''}{T}$,.... et ainsi de suite.

D'une manière plus générale, on pourra faire pour chaque position de la surcharge le calcul du nombre de rivets ou de l'épaisseur d'âme qui serait nécessaire dans chacune des divisions, et l'on prendra pour chaque division le nombre maximum de rivets ou la plus grande épaisseur trouvée.

Nous croyons inutile, après cette formule générale, d'examiner un plus grand nombre de cas particuliers.

81. *Des montants.* — Nous venons d'examiner les conditions que devaient remplir l'âme, les cornières et les rivets pour empêcher le déplacement relatif des T du haut et du bas dans le sens horizontal; mais ce mouvement n'est pas le seul à craindre. Un deuxième mouvement possible consiste dans le rapprochement de ces deux T. On le combat, soit au moyen d'une surépaisseur donnée à l'âme, soit par des montants qu'on place généralement en un certain nombre de points également espacés. Nous allons chercher le rôle de ces montants, d'où l'on verra nettement celui de la surépaisseur de l'âme.

Supposons une poutre chargée sur sa partie supérieure, divisée en n parties égales par $(n+1)$ montants, dont deux sur les points d'appui A, B. (Pl. 184, *fig.* 30). Ajoutons provisoirement $(n-1)$ points d'appui intermédiaires C, D. Il est évident que si la poutre peut porter les surcharges quand elle ne s'appuie qu'en A et B, elle devra pouvoir à plus forte raison, les porter quand elle sera posée sur $(n+1)$ points d'appui A, B, C, D. Quand la poutre reposant sur A

et B s'infléchit sous les charges, l'âme supporte un travail qui, vers les extrémités supérieure et inférieure, approche de la limite qu'on s'impose. Il est évident qu'alors nous ne devrons pas compter sur cette âme pour reporter sur les point d'appui les pressions qui s'exercent sur la plate-bande supérieure. Ce seront donc les montants qui joueront ce rôle; et, dans ce cas, chacun d'eux devra pouvoir porter la charge totale de l'intervalle des deux montants. La force des montants sera proportionnelle à leur espacement.

82. Quant à la portion GH du T supérieur, comprise entre deux montants consécutifs, elle devra pouvoir supporter les surcharges comprises entre G et H, lorsque l'on ajoutera les points d'appui C et D. Il en résultera alors une certaine compression dans la partie haute de ce T supérieur, une certaine tension dans sa partie basse, et une tendance de l'âme à se voiler. Quand on supprimera ces points d'appui intermédiaires, il se produira dans toute la poutre un nouveau travail, mais les nouveaux efforts se combineront par addition ou soustraction avec les anciens. Le T supérieur devant supporter une pression P calculée par les formules ordinaires lorsque la poutre ne repose qu'en A et B, devant supporter dans sa partie supérieure une pression p, dans sa partie inférieure une tension p' quand la poutre repose en outre sur des appuis intermédiaires C et D, l'effort le plus grand que subira ce T aura lieu à sa partie supérieure, et sera égal à $P + p$; à sa partie inférieure il ne portera que $P - p'$. L'effort du T inférieur restera toujours égal à P.

On voit que si la charge porte sur le T supérieur, comme nous l'avons supposé, il faudra donner à ce T une section plus grande que celle du T inférieur. Si au contraire la charge est transmise à la poutre par les montants, les T haut et bas fatigueront également, on devra leur donner la même section.

83. Ceci nous paraît expliquer la variété d'opinions

émises sur la différence entre les coefficients de résistance du fer à la tension et à la compression.

Quand on a employé des montants assez voisins pour que l'effort p fût négligeable relativement à l'effort P, on a trouvé que le fer résistait aussi bien à la compression qu'à la tension.

Quand on a écarté davantage ces montants, il est arrivé que $P + p$ a différé notablement de P, et l'on a cru pouvoir en conclure que le fer résistait beaucoup moins bien à la compression qu'à la tension.

84. Quand on aura à combiner un tablier de pont, on aura à se demander s'il vaut mieux faire porter la charge sur les T supérieurs des poutres, ou sur des traverses qui la transmettent aux montants; on voit que la première solution conduirait à renforcer le T supérieur, la seconde à employer des traverses assez fortes. Si d'autres raisons ne font préférer l'un de ces systèmes à l'autre, ce ne sera que par une comparaison détaillée qu'on pourra déterminer quel est le plus économique.

85. *Du contreventement.* — Quand on aura assuré la solidarité de l'âme avec les cornières, de celles-ci avec les lames hautes et basses, et déterminé les sections des montants de manière qu'ils puissent supporter les surcharges de l'intervalle d'un montant à l'autre, il restera, pour empêcher les derniers mouvements possibles, à contreventer la poutre.

On empêchera toute déformation quand on s'opposera aux mouvements suivants : 1° déformation générale de la poutre en dehors du plan vertical de l'âme; 2° déformation des polygones formés par l'âme, les montants, les T supérieur et inférieur; 3° déformations de ces T entre deux montants.

Études ces déformations dans l'ordre inverse de celui où nous venons de les énoncer.

86. *Déformation des* T *entre deux montants.* — Nous rentrons ici dans un cas que nous avons déjà examiné.

On calculera le plus faible moment de résistance du T qui indiquera le sens dans lequel doit se produire le mouvement. On substituera alors au T un prisme dont la base présente la même section et le même moment de résistance. On verra sous quelle longueur ce prisme peut supporter la charge sans fléchir. Le T devra être tel que cette longueur soit au moins égale à l'intervalle de deux montants.

87. *Déformation des polygones formés par les montants, les* T *et l'âme.* — Si l'on considère l'intervalle compris entre trois montants, il faudra que le polygone intermédiaire soit assez rigide pour empêcher la déformation des T supérieur et inférieur. Ces T tendent à prendre une position oblique relativement à l'âme. Il sera facile, par des goussets et une légère augmentation de la force des montants, d'obtenir un polygone indéformable sans grande dépense. Si l'on tenait à calculer ces détails, il faudrait déterminer, comme nous l'avons dit en étudiant la rigidité des pièces, la force transversale que doit pouvoir supporter le milieu de l'intervalle des trois montants; supposer que cette force, dont le sens est indéterminé quand il s'agit d'une pièce libre soit ici partagée en deux forces égales, l'une appliquée à la moitié du T qui se trouve d'un côté de l'âme, l'autre appliqué en sens contraire à l'autre moitié du T, à des distances égales à moitié de la demi-largeur du T, il en résulterait un couple tendant à déformer le polygone des montants, des T et de l'âme. On supposerait fixe l'un des côtes de ce polygone, et l'on s'assurerait que le couple ne peut vaincre la résistance à la déformation qu'opposent les autres côtés.

88. *Déformation générale de la poutre en dehors du plan vertical de l'âme.* — Si l'on adopte la forme généralement usitée, les T supérieur et inférieur opposeront seuls par

leur largeur une certaine résistance à la déformation dont il s'agit.

S'ils travaillaient tous deux par compression, et que le travail maximum fût de 6 kilogrammes par exemple, on rentrerait dans le cas des pièces chargées debout, et il faudrait, dans ce cas que la portée ne fût pas supérieure à seize fois le grand côté d'un rectangle de même section et de même moment de résistance que celles du T dans le sens considéré.

Mais l'un des T travaille par compression, l'autre par tension. Ce dernier fatiguera moins quand la poutre restera plane que dans toute autre position ; il tendra donc à maintenir la poutre dans sa forme primitive. Et la déformation ne se produira que quand la force transversale qui tend à faire fléchir le T supérieur sera capable de faire fléchir les deux T.

Ici nous retombons dans les incertitudes signalées lorsque, en étudiant la rigidité des pièces, nous sommes arrivé au cas où une même section subit à la fois des efforts directs et des efforts transversaux. On peut bien, par des considérations peu mathématiques, arriver à une certaine appréciation des portées possibles; mais toute méthode exacte fait défaut.

SIXIÈME PARTIE.

CONSIDÉRATIONS SUR LES DIVERSES SOLUTIONS POSSIBLES.

89. Disons d'abord quelques mots de certaines dispositions du pont projeté que nous n'avons pas encore justifiées.

Des meilleures sections. — Nous avons fait voir que les sections adoptées seraient suffisantes. Reste à examiner si l'on n'aurait pas pu en adopter de meilleures.

Section des arcs. — D'abord pour les arcs. Les différentes parties de nos arcs ne travaillent pas toutes de la même

manière ; la partie centrale doit résister à des efforts qui tendent à la faire fléchir, la section en double T eût été la plus rationnelle. On eût obtenu la même rigidité avec une moindre hauteur, ce qui eût atténué les effets de température. Les parties latérales, au contraire, résistent principalement aux compressions directes ; si ces parties étaient polygonales, c'est-à-dire en ligne droite d'un sommet à un autre, la section circulaire serait la plus rationnelle. Mais pour pouvoir croiser les joints des différentes pièces, on a dû maintenir ces parties en arc de cercle ; il en résulte une légère tendance à la déformation dans le sens vertical ; la meilleure section serait donc une ellipse dont le grand axe serait vertical.

Remarquons en passant que nous serions conduit à une section analogue à celle des arcs Polonceau pour la partie du pont où nous avons des tympans rigides ; à une section en double T pour la partie où manque la rigidité : cela montre assez que la section des arcs Polonceau, employée avec des tympans non rigides, constitue une combinaison très-défectueuse.

Revenant à nos arcs. Nous nous bornerons à dire que les trois parties dans lesquelles on peut les diviser demandant des sections tout à fait différentes, nous avons cherché à composer, au moyen des fers du commerce, une section intermédiaire entre le double T et l'ellipse.

90. *Section des montants et liens.* — Pour les montants et liens, la meilleure section eût été un cercle ; mais on ne trouve pas dans le commerce de fers à section demi-circulaire, avec tables permettant les rivures (Pl. 184, *fig.* 34) ; nous avons donc dû nous contenter des T et plates-bandes. Le poids que nous en avons employé ne pouvait motiver l'installation d'une fabrication spéciale de fers demi-cylindriques.

91. *Section des longerons.* — Les longerons ont un rôle assez compliqué. La forme double T est la plus convenable

au point de vue de la flexion que tend à produire le passage des surcharges sur les poutrelles intermédiaires ; mais la forme cylindrique serait la plus convenable pour les grandes compressions qui se produisent dans la partie centrale. On eût donc pu adopter soit une section elliptique, soit une cellule rectangulaire. Pour rester dans les formes simples, nous avons accepté le double T.

92. *Des dispositions pouvant annuler les effets de température et les chances d'erreur du calcul.* — Nous avons vu qu'en faisant porter nos arcs sur des pivots aux naissances, nous favorisions la bonne répartition des efforts, et rendions calculables exactement les effets de température dans toute l'étendue de l'arc et les effets de la pesanteur dans les parties latérales ; les effets de la pesanteur dans la partie centrale ont pu être calculés avec l'approximation que comporte la méthode des courbes de pression.

Nous avions pensé à une disposition qui eût permis d'annuler les effets de température et rendu aux calculs toute leur précision. Elle consistait à faire à la clef quelque chose d'analogue à ce que nous faisons aux naissances, à y établir un joint libre et à prolonger jusqu'au sommet la triangulation des tympans. On conçoit aisément que l'une des moitiés de l'arc pourrait se terminer par un demi-cylindre creux, l'autre moitié par un demi-cylindre saillant ; les deux cylindres formeraient un assemblage permettant la libre dilatation des deux parties de l'arc. En outre on aurait, dans l'axe de ces cylindres, un point de passage obligé pour la résultante à la clef. On pourrait éclisser, avec un certain jeu, le système des arcs et les extrémités des deux moitiés du longeron.

Nous avons rejeté cette disposition parce que la hauteur nous manquait pour prolonger la triangulaire jusqu'à la clef, et que le biais très-prononcé du pont n'aurait pas permis une commode exécution des joints libres, des contreventements voisins et du plancher supérieur.

Nous croyons néanmoins devoir la signaler pour les cas où l'on ne manquerait pas de hauteur, et où il s'agirait d'une ouverture droite. En se reportant à la série de nos calculs, on voit que trois causes d'incertitude y subsistent : l'emploi de la courbe de pression pour la partie centrale, l'hypothèse d'un système articulé pour les parties latérales, et la tendance au flambage des pièces soumises à des efforts transversaux. La solution indiquée faisant disparaître deux de ces causes d'incertitude, et rendant disponible un effort de plus de 1 kilogramme par millimètre quarré consacré aux effets de température, nous semble offrir des avantages dignes d'un examen sérieux.

93. *De l'emploi du fer et de la fonte.* — Après avoir montré comment nous avons été conduit à préférer la solution exposée aux diverses dispositions que permettait l'emploi du fer, il resterait à établir la comparaison entre le fer et la fonte employés sous forme d'arcs.

Sans prétendre résoudre ici cette question, nous allons en dire quelques mots.

Pour la fonte, il ne faut pas songer à employer des tympans rigides comme nous l'avons fait ; elle résiste trop mal à la traction, et il faut que les dispositions adoptées ne mettent guère en jeu que sa résistance à la compression. Le fer permet un travail variable depuis — 6 kilogrammes jusqu'à + 6 kilogrammes ; la fonte ne permet guère qu'un travail de 0 à + 6 kilogrammes : ce qui indiquerait déjà que, même en supposant le prix du fer double de celui de la fonte, on pourrait faire un tablier de pont pour le même prix total.

Mais il faut considérer que, dans l'emploi de la fonte, en n'adoptant pas les pivots aux naissances pour régulariser les effets de température, on est conduit à donner aux joints des naissances une grande étendue qui rend ces effets très-redoutables. Il est vrai que l'élasticité de la fonte dans de tels ouvrages (MM. Collet-Meygret et Desplaces) est sen-

siblement triple de celle du fer ; mais rien n'indique que la mauvaise répartition des effets de température ne puisse pas tripler l'effet maximum. En outre, comme on ne veut employer que la résistance à la compression de la fonte, on doit chercher à réduire l'étendue des déplacements possibles de la courbe de pression. On ne peut arriver à ce résultat qu'en augmentant l'influence du poids mort, diminuant celle du poids roulant. On est alors conduit à exagérer les dimensions du pont pour atténuer les incertitudes de la méthode de calcul qu'imposent les dispositions adoptées, dispositions qui sont elles-mêmes imposées par la nature de la matière.

94. On pourrait cependant réduire le poids des constructions en fonte en adoptant les pivots aux naissances, et donnant une hauteur réduite à la clef et une grande hauteur dans les tympans, comme nous l'avons indiqué en commençant cette étude (n° 19, *fig.* 14). On trouverait sans doute le moyen de rendre acceptable l'effet de cette disposition.

95. Le pont du canal Saint-Denis pèsera environ 135 000 kilogrammes; les efforts qu'il pourra supporter ont pu être étudiés avec une approximation assez grande. Nous ne pensons pas qu'on puisse faire un pont en fonte dans les mêmes conditions avec un poids double de matière ; et dans un tel pont, il nous semble qu'on ne saurait établir aucun calcul réellement rassurant, à moins d'entrer dans la voie que nous venons d'indiquer.

4 janvier 1859. — Le pont du canal Saint-Denis est livré à la circulation depuis un an ; il a subi, sans aucune déformation permanente, les épreuves prescrites par l'administration. Ces épreuves ont bien montré que c'est dans le cas de surcharge complète sur une demi-travée que se produit la plus grande déformation. Les abouts des longerons sur les culées présentent, au moment du passage des trains, un mouvement de translation sensible qui montre qu'il y a rotation autour des pivots des naissances.

L'abaissement maximum au moment des épreuves a été de 0.025.

Au passage des trains, il varie de 0.01 à 0.013.

Le tablier n'a pas coûté 2 000 francs par mètre courant.

CALCULS PRÉLIMINAIRES.

96. *Evaluation des charges.* — Poids total du tablier.

Charge permanente :

	kil.
1° Fers de toute nature entrant dans la construction du tablier (non compris les sabots des arcs). . .	125 000
2° Bois de chêne pour plancher, 50^{mc} à 900 kil. l'un.	45 000
3° 185 mètres de rails, à 37 kil. par mètre.	6 875
4° Ballast sur 0^{m},10 d'épaisseur $46 \times 6.20 \times 0.10 \times 1.60$	45 125
Total.	220 000

D'où, en admettant une répartition sensiblement uniforme :

Charge par mètre courant de projection horizontale d'arc libre $= \dfrac{220\,000^k}{4 \times 45} = 1.233^k$, soit.	1 300
Charges accidentelles, 4 000 kil. par mètre courant de simple voie.	

D'où :

Charge totale d'un mètre courant de projection horizontale d'un arc, 1 300 + 2 000.	3 300
Charge sur un montant intermédiaire libre $1\,300^{kil} \times 2.25^{m}$.	2 925
id. id. id. chargé $3\,300 \times 2.25$.	7 425
id. id. extrême libre $1\,300^k \times \dfrac{2.25+0.90}{2}$	2 047
id. id. id. chargé $3\,300^k \times \dfrac{2.25+0.90}{2}$	5 197

97. ***Moment d'inertie d'un rail Barlow par rapport à différents axes.*** — En appelant :

a, la base d'un triangle, d'un trapèze ou d'un rectangle;
b, la hauteur d'un triangle ou d'un rectangle;
b et b', les deux côtés parallèles d'un trapèze rectangulaire, parallèles à l'axe d'inertie.

on aura pour moment d'inertie de chacune de ces figures :

Rectangle	par rapport à l'axe passant par le centre de gravité	$\frac{1}{12} ab^3$
	par rapport à la base	$\frac{1}{3} ab^3$
Triangle	par rapport à l'axe passant par le centre de gravité.	$\frac{1}{36} ab^3$
	par rapport à la base.	$\frac{1}{12} ab^3$
Trapèze rectangulaire	par rapport à la base. . .	$\frac{1}{12} a (b^3 + b^2 b' + bb'^2 + b'^3)$

D'où, pour le moment d'inertie d'un rail Barlow par rapport à l'axe AB (Pl. 184, *fig.* 32) :

$$I = 2 \left[\tfrac{1}{3} ab^3 + \tfrac{1}{12} a' (b'^3 + b'^2 b'' + b''^2 b' + b''^3) + \tfrac{1}{12} a'' (b''^3 + b''^2 b''' + b'''^2 b'' + b'''^3) + \tfrac{1}{3} a''' b'''^3 \right].$$
$$- \; 2 \left[\tfrac{1}{12} a_1 (b_1^3 + b_1^2 b_1' + b_1'^2 b_1 + b_1'^3) + a_1' (b_1'^3 + b_1'^2 b_1'' + b_1''^2 b_1' + b''^3 \right].$$

En appliquant les valeurs numériques, on trouve :

Pour un rail. . . . . $I = 0.000093$
Pour deux rails. . . . . $I = 0.000186$

On aura de même pour le moment d'inertie d'un rail par rapport à labase CD (Pl. 184, *fig.* 33):

$$I = 0.0000279$$

En appelant :

I, le moment d'inertie d'une figure quelconque par rapport à un axe passant par son centre de gravité ;
I', le moment d'inertie par rapport à un axe passant à une distance δ du centre de gravité, et parallèle au premier ;
S, sa surface,

On a, d'après un théorème connu sur les rayons de giration :

$$I' = I + S \delta^2.$$

Voici le tableau des calculs donnant la surface du rail et la distance de la base CD au centre de gravité :

INDICATION des figures.	DIMENSIONS des figures partielles.	SURFACES partielles. s	DISTANCE du centre de gravité de chaque surface partielle à la base. d	MOMENT de chaque surface partielle par rapport à la base. $M = Sd$.
		m2		
a	$2 \times 0.066 \times 0.0135$.	0.001782	1.0067	0.000011939
b	$2 \times \frac{0.048 + 0.060}{2} \times 0.0135$	0.001458	0.023	0.000033534
c	$2 \times \frac{0.046 + 0.055}{2} \times 0.0135$	0.001363	0.061	0.000083173
d	0.035×0.060	0.002100	0.103	0.000216300
Surface totale du rail.		0.006703	Somme des moments.	0.000344946

D'où :

$$D = \frac{\Sigma M}{\Sigma S} = \frac{0.000344946}{0.006703} = 0.051.$$

On en déduit :

Pour la surface totale de deux rails. . . . . $0^m.0134$
Pour moment d'inertie du rail par rapport à la ligne GH passant par le centre de gravité, et parallèle à la base CD, $I' = I - S\delta^2 =$ . . . . $0^m.00001048$

PREMIÈRE PARTIE. — *Calcul des effets de la pesanteur.*

1° Étude de la partie centrale.

98. *Recherche des moments de résistance des sections de la partie centrale.* — Un premier tableau donne l'axe neutre de chacune des sections. (Pl. 184, *fig.* 19 à 23.)

Désignation des figures. Numéros.	Désignation des figures. Description.	Surfaces des figures partielles. Dimensions des figures.	Surfaces des figures partielles. Surfaces. S	Distance du centre de gravité de chaque surface à l'horizontale supérieure. d	Moment de chaque surface partielle par rapport à l'horizontale supérieure. $M = Sd$.	Distance de l'axe neutre à l'horizontale supérieure. $D = \Sigma M / \Sigma S$.
	Section O (clef).					
1	4 rails et leur âme.	$4 \times 0.0067 +$ 0.61×0.035	0.04815	0.40	0.01924	
2	Branches verticales des cornières et l'âme comprise.	0.066×0.055	0.00330	0.065	0.0002145	$D = \frac{0.0195851}{0.05940}$
3	Branches horizontales. *id.* *id.* . .	0.175×0.010	0.00175	0.030	0.0000525	
4	Plates-bandes. . .	0.25×0.025	0.00625	0.0125	0.0000781	$D = 0^m.330$
	Surface totale de la section ΣS. .		0.05940	ΣM. . .	0.0195851	
	Section n° 1.					$D = \frac{0.02200705}{0.06137}$ $D = 0^m.358$
	Section n° 2.					$D = \frac{0.03228450}{0.06925}$ $D = 0^m.466$
	Section n° 3.					$D = \frac{0.04571625}{0.07765}$ $D = 0^m.589$
	Section n° 4.					$D = \frac{0.05895975}{0.07135}$ $D = 0^m.826$

Un deuxième tableau donne les moments d'inertie des diverses sections.

DÉSIGNATION des figures partielles.	MOMENT D'INERTIE des figures partielles par rapport à leur axe propre. i	DISTANCE de l'axe d'inertie des figures partielles à l'axe neutre total. δ	QUARRÉ de la distance δ δ^2	SURFACE des figures partielles. S	PRODUIT des surfaces partielles par le quarré de la distance δ $S\delta^2$	MOMENT D'INERTIE de chaque figure partielle par rapport à l'axe neutre total. $i + S\delta^2$	MOMENT D'INERTIE total de chaque section. I
			SECTION O (clef).				
2 rails inférieurs.	0.000186	0.222	0.049284	0.0134	0.0006604	0.0008464	0.0029097
Id. supérieurs.	0.000186	0.082	0.006724	0.0134	0.0000901	0.0002761	
Partie d'âme au-dessous de l'axe neutre. . . .	$i = \frac{ab^3}{3} = \frac{0.035 \times \overline{0.375}^3}{3}$					0.0006152	
	Figure totale.						
T au-dessus de l'axe neutre. .	$i = \frac{ab^3}{3} - \frac{0.25 \times \overline{0.33}^3}{3}$				0.0029947	0.0011720	
	A déduire les évidements						
	$\frac{0.075 \times \overline{0.305}^3 + 0.12 \times \overline{0.295}^3 + 0.02 \times \overline{0.235}^3}{3}$				$= 18.227$		
SECTION n° 1.							0.0034312
SECTION n° 2.							0.0052652
SECTION n° 3.							0.0087576
SECTION n° 4.							0.0170614

Un troisième tableau donne enfin les moments de résistance desdites sections.

DÉSIGNATION des sections.	MOMENT d'inertie total de la section.	DISTANCE de l'axe neutre aux fibres les plus éloignées.		MOMENT DE RÉSISTANCE $MR = \frac{RI}{v}$	
	I	part. supér. v	part infér. v'	partie supérieure. $\frac{RI}{v}$	partie inférieure. $\frac{RI}{v'}$
		m.	m.		
Section o (clef). . . .	0.0029097	0.33	0.375	0.0088173 R	0.0077592 R
Section 1.	0.0034412	0.358	0.401	0.0095844 R	0.0085566 R
Section 2.	0.0052652	0.466	0.424	0.01129871 R	0.0124179 R
Section 3.	0.0087576	0.589	0.531	0.0148686 R	0.0164927 R
Section 4.	0.0170614	0.818	0.632	0.0208575 R	0.0269959 R

99. *Première hypothèse sur le point de passage de la résultante à la clef.* — On a essayé une première position A du point de passage de la résultante à la clef, dans le cas où la surcharge occupe une demi-travée (Pl. 184, *fig.* 24). (On a d'abord choisi pour A le centre de section.)

On a vu (24) que

$$\frac{PD}{pd} = \frac{X'}{x'} \text{ et } X' + x' = 2f.$$

On en déduit :

$$x' = \frac{2pf}{P+p}, \quad X' = \frac{2Pf}{P+p};$$

Or, pour le point essayé, on aura :

$$P = 3300 \times \left(22^{m}.50 + \frac{0^{m}.90}{2}\right) = 75735^{k}.$$

$$p = 1300 \times \left(22^{m}.50 + \frac{0^{m}.90}{2}\right) = 29835^{k}.$$

$$f = 4^{m}.85.$$

D'où :

$$x' = \frac{2 \times 29.836 \times 4.85}{75.734 + 29.836} = 2^{m}.741.$$

$$X' = \frac{2 \times 75.734 \times 4.85}{75.734 + 29.836} = 6^{m}.958.$$

On a ensuite, par le parallélogramme des forces :

$$F = 121^{t} \; .\;.\;.\;.\;. \; R = 136^{t}.5.$$

Chacune des sections 1, 2, 3, 4 est soumise à une compression uniformément répartie provenant de la composante Q de la force F passant par son centre de gravité (Pl. 184, *fig.* 25); elle est en outre sollicitée à la flexion par la composante verticale P de la force F et les forces verticales positives ou négatives $p\frac{L^2}{2}$ ou $p'\frac{L^2}{2}$ qui résultent au sommet, du poids de la partie de tablier comprise entre ce sommet et la section considérée.

Voici le calcul des moments de ces différentes forces.

Indications des sections.	Résultante à la clef F.	COTÉ CHARGÉ (côté gauche). ÉLÉMENTS Q	P	L	p	MOMENTS DES FORCES. $PL - p\frac{L^2}{2}$	COTÉ LIBRE (coté droit). ÉLÉMENTS Q'	P'	L'	p'	MOMENTS DES FORCES. $P'L + p'\frac{L^2}{2}$
		ton.	ton.	mèt.			ton.	ton.	mèt.		
1	121 tonnes.	120	13	2.25	3 300 kil.	$13000 \times 2.25 - \frac{3300 \times \overline{2.25}^2}{2} = 20897$	120	9.5	2.25	1 300 kil.	$9500 \times 2.25 + \frac{1300 \times \overline{2.25}^2}{2} = 24665$
2		120	15	4.50		$15000 \times 4.50 - \frac{3300 \times \overline{4.50}^2}{2} = 34088$	120	8.5	4.50		$8500 \times 4.50 + \frac{1300 \times \overline{4.50}^2}{2} = 51412$
3		120	17	6.75		$17000 \times 6.75 - \frac{3300 \times \overline{6.75}^2}{2} = 39572$	120	6.0	6.75		$6000 \times 6.75 + \frac{1300 \times \overline{6.75}^2}{2} = 70115$
4		120	19	9.00		$19000 \times 9.00 - \frac{3300 \times \overline{9.00}^2}{2} = 37350$	120	4.5	9.00		$4500 \times 9.00 + \frac{1300 + \overline{9.00}^2}{2} = 93150$

On en déduit, comme il suit, le travail maximum que ces différentes forces produiraient dans chacune des sections de la partie centrale.

SECTIONS.	ÉLÉMENTS DE RÉSISTANCE.			FORCES.			TRAVAIL MAXIMUM (par millimètre quarré).								
	SURFACE de chaque section.	MOMENTS de résistance.		COMPOSANTE directe pour les deux cotés de l'arc	MOMENTS de rupture par flexion.		Compression produite par la composante Q	Par flexion $\frac{MF}{I/v}$.				Total pour chaque point.			
								Côté chargé.		Côté libre.		Côté chargé.		Côté libre.	
		Partie supérieure.	Partie inférieure.		Côté chargé.	Côté libre.		Partie supér.	Partie infér.	Partie supér.	Partie infér.	Partie supér.	Partie infér.	Partie supér.	Partie infér.
	S	$\frac{I}{v}$	$\frac{I}{v'}$	Q et Q'	MF	MF'	$\frac{Q}{S}$	$\frac{MF}{I/v}$	$\frac{MF}{I/v'}$	$\frac{MF'}{I/v}$	$\frac{MF'}{I/v'}$				
	m.			kil.			compres. kil.	compres. kil.	traction. kil.	traction kil.	compres. kil.	compres. kil.	traction kil.	traction kil.	compres. kil.
1	0.061370	0.0095844	0.0085566	120.000	20897	24665	1.95	2.18	2.44	2.57	2.88	4.13	0.49	0.62	4.83
2	0.069250	0.01129871	0.0124179	120.000	34088	51412	1.73	3.01	2.74	4.55	4.15	4.74	1.01	2.82	5.88
3	0.077650	0.0148686	0.0164927	120.000	39572	70115	1.54	2.66	2.39	4.85	4.25	4.20	0.85	3.31	5.79
4	0.071350	0.0208575	0.0269959	120.000	37350	93150	1.68	1.79	1.37	4.46	3.45	3.47	0.34	2.78	5.13

Ce tableau indique deux maxima très-différents, l'un de $4^k.74$ du côté chargé, l'autre de $5^k.88$ du côté libre.

100. *Position définitive du point de passage de la résultante à la clef.* — On a alors déterminé par approximation une nouvelle position du point A, telle que ces deux maxima devinssent sensiblement égaux entre eux et à la moyenne des deux maxima primitivement trouvés.

Il en résulte deux nouveaux tableaux que nous reproduisons.

Le premier donne les moments des forces extérieures relativement aux diverses sections.

Indication des sections.	Résultante à la clef F.	COTÉ CHARGÉ (côté gauche).					COTÉ LIBRE (côté droit).				
		ÉLÉMENTS				MOMENTS DES FORCES.	ÉLÉMENTS				MOMENTS DES FORCES.
		Q	P	L	p	$MF = PL - p\frac{L^2}{2}$	Q'	P'	L	p'	$MF' = P'L + p'\frac{L^2}{2}$
		ton.	ton.	mèt.			ton.	ton.	mèt.		
1	121 tonnes.	120	15.5	2.25	3 300 kil.	$15\,500 \times 2.25 - 3\,300 \times \frac{\overline{2.25}^2}{2} = 26\,522$	120	7.2	2.25	1 300 kil.	$7\,200 \times 2.25 + 1\,300 \times \frac{\overline{2.25}^2}{2} = 19\,490$
2		120	16.4	4.50		$16\,400 \times 4.50 - 3\,300 \times \frac{\overline{4.50}^2}{2} = 40\,387$	120	7.0	4.50		$7\,000 \times 4.50 + 1\,300 \times \frac{\overline{4.50}^2}{2} = 44\,662$
3		120	17.5	6.75		$17\,500 \times 6.75 - 3\,300 \times \frac{\overline{6.75}^2}{2} = 42\,947$	120	4.8	6.75		$4\,800 \times 6.75 + 1\,300 \times \frac{\overline{6.75}^2}{2} = 62\,016$
4		120	19.0	9.00		$19\,000 \times 9.00 - 3\,300 \times \frac{\overline{9.00}^2}{2} = 37\,350$	120	3.5	9.00		$3\,500 \times 9\,000 + 1\,300 \times \frac{\overline{9}^2}{2} = 84\,150$

Le deuxième donne le travail maximum définitif des diverses sections de la partie centrale sous l'action de la pesanteur.

Sections.	Éléments de résistance. — Surface de chaque section. S	Éléments de résistance. — Moments de résistance. Partie supérieure. $\frac{I}{v}$	Éléments de résistance. — Moments de résistance. Partie inférieure. $\frac{I}{v'}$	Forces. — Composante directe pour les deux cotés de l'arc. Q et Q'	Forces. — Moments de rupture. Coté chargé. MF	Forces. — Moments de rupture. Côté libre. MF'	Travail maximum (par millimètre quarré). — Compression produite par la composante Q. $\frac{Q}{S}$	Par flexion. Côté chargé. Partie supér. $\frac{MF}{I/v}$	Par flexion. Côté chargé. Partie inför. $\frac{MF}{I/v'}$	Par flexion. Côté libre. Partie supér. $\frac{MF'}{I/v}$	Par flexion. Côté libre. Partie infér. $\frac{MF'}{I/v'}$	Total pour chaque point. Côté chargé. Partie supér.	Total pour chaque point. Côté chargé. Partie infér.	Total pour chaque point. Côté libre. Partie supér.	Total pour chaque point. Côté libre. Partie infér.
	m.			kil.			compres. kil.	compres. kil.	traction kil.	traction kil.	compres. kil.	compres. kil.	traction kil.	traction kil.	compres. kil.
1	0.061370	0.0095844	0.0085566	120.000	26522	19490	1.95	2.76	3.10	2.03	2.28	4.71	1.15	0.08	4.23
2	0.069250	0.01129871	0.0124179	120.000	40387	44662	1.73	3.58	3.25	4.00	3.58	5.31	1.52	2.27	5.31
3	0.077650	0.0148686	0.0164927	120.000	42947	62016	1.54	2.89	2.60	4.16	3.75	4.43	1.06	2.62	5.29
4	0.071350	0.0208575	0.0269959	120.000	37350	84150	1.68	1.79	1.40	4.03	3.11	3.47	0.28	2.35	4.79

Il résulte de ce tableau que le travail maximum sera de $5^k.31$.

Ces calculs ne comprennent pas la section o (clef). Pour elle, on a : (Pl. 184, fig. 26).

Pression uniforme $\frac{Q}{S}$ ou $\frac{120.000}{59.400} = C. 2^k.02$.

Distance du point A' au centre de section $0^m.06$.

Moment de la force F par rapport à l'axe neutre $121.000 \times 0.06 = 7.260$

Travail par flexion. (D'après le n° 27.)
- Partie supérieure $\frac{7260}{0.0088173} =$ C. . . . . . $0^k.82$
- Partie inférieure $\frac{7260}{0.0077592} =$ Tr. 0.93

Travail total.
- Partie supérieure $2.02 + 0.82 =$ C. 2.84
- Partie inférieure $2.02 - 0.93 =$ C. 1.09

2° Étude des parties latérales.

101. *Décomposition des efforts.* — Cette partie du travail n'exigeant que la recherche de centres de gravité dans diverses positions, et des décompositions de force tout à fait élémentaire, nous nous bornerons à renvoyer aux épures des divers cas et à l'épure récapitulative (Pl. 4, *fig.* 185, 1, 2 et 3).

On conclut de l'examen de ces figures qu'en ce qui concerne les parties latérales :

1° Le cas le plus défavorable pour l'arc est celui de la charge complète pour les voussoirs voisins des naissances, et celui de la charge sur 3/4 de la longueur du pont pour les voussoirs adjacents à la partie centrale ;

2° Le cas le plus défavorable pour les montants 7, 8, 9, 10, les liens obliques et le longeron correspondants, est celui où la charge occupe le tiers de la longueur du pont ;

3° Le cas le plus défavorable pour les montants 4, 5, 6, les liens obliques et le longeron correspondants, est celui où la charge occupe la moitié de la longueur du pont.

Ces remarques permettraient de réduire le nombre des tâtonnements dans l'étude d'un ouvrage analogue.

102. *Travail éprouvé par chaque pièce sous l'effet direct des surcharges.* — Le tableau suivant va faire connaître le travail éprouvé par chaque pièce des parties latérales, sous l'action des efforts indiqués par ces décompositions de forces.

Indication des pièces.	Figures représentant leurs sections.	SURFACE des sections en millimètres quarrés. S	EFFORT MAXIMUM de traction P	EFFORT MAXIMUM de compression Q	TRAVAIL de traction P/S	TRAVAIL de compression Q/S
		Arcs.				
clef	Pl. 185	mm.	kil.	kil.	kil.	kil.
0	fig. 19	Comme au tableau du n° 98. . . 59.400	»	170.000	»	3.00
4-5	18		»	190.000	»	5.27
5-6			»	188.000	»	5.23
6-7		4 rails—4×6.700. . . . . 26.800 Ame — 610 × 15. . . . . 9.150	»	186.000	»	5.21
7-8		Surface. 35.950	»	184.400	»	5.13
8-9			»	186.000	»	5.21
9-10			»	188.000	»	5.23
		Longerons.				
3-4	4	Ame de 35 d'épaisseur cornières et plates-bandes. 23.200	51.000	87.000	2.19	3.75
4-5	5	Ame de 25 d'épaisseur 4 cornières et plates-bandes de 250/15 } 12.700 7.500	51.000	87.000	2.50	4.30
5-6	6	20.200	45.000	52.500	3.06	3.57
6-7		Ame et 4 cornières. . . . . 9.700 2 plates-bandes de 250/10. . . . 5.000	30.000	38.000	2.72	2.58
7-8	7	14.700	20.000	25.000	1.66	2.03
8-9		Ame et 4 cornières. . . . . 9.700 2 plates-bandes de 250/5. . . . . 2.500 Surface totale. 12.200	12.000	15.000	0 98	1,23
9-10	8	Ame et 4 cornières, surface. . . 9.700	5.500	7.000	0.56	0.72
		Montants.				
4	15		»	18.600	»	2.48
5		2 T de 0.15 de tablette, 0.08 de nervure et 0.12 d'épaisseur :	7.500	19.000	1.00	2.53
6		Surface 2 (150 + 68) × 12. . . . . 5 232 Ame 150 × 15. . . . . 2.250	7.425	18.000	0.99	2.40
7		Surface totale. 7.482	8.925	17.000	1.19	2.27
8	14	2 T de 0.20 de largeur, 0.10 de nervure et 0.15 d'épaisseur :	10.925	18.000	0.95	1.56
9		Surface 2 (200 + 85) × 15. . . . . 8.550 Ame 200 × 5. . . . . 3.000	10.925	19.000	0.95	1.65
10		Surface totale. 11.550	14.925	17.000	1.29	1.50
		Liens obliques.				
5-4	15		38.000	9.500	5.07	1.26
6-5		Comme les montants de 4 à 7 :	24.000	11.000	3.20	1.47
7-6		Surface totale. 74.82	17.000	11.500	2.27	1.53
8-7			14.500	13.500	1.94	1.80
9-8	14	Comme les montants 8, 9, 10.	13.000	13.500	1.12	1.16
10-9		Surface totale. 11.505	14.000	14.500	1.21	1.25

3° Calculs des flexions verticales du longeron.

103. La *fig.* 3, Pl. 184, indique la position la plus défavorable des charges sur le longeron. Elles peuvent être ainsi évaluées :

		kil.
Poids de la roue de la locomotive		6 420
Poids de la poutrelle.	75	
Poids de la longrine et du rail.	60	
Poids de la longrine de rive, ...	40	
Poids du plancher et du ballast.	275	
	450	450
Total.		6 870
Soit.		6 900

On a pour réaction du point d'appui A :

$$q = \frac{Pl + P'l'}{L} + \frac{pL}{2} = \frac{6\,900 \times 1.50 + 450 \times 0.75}{2.25} + \frac{100 \times 2.25}{2} = 4\,862^{k}.5.$$

Et pour le moment des forces tendant à rompre la section P :

$$MF = ql'' - \frac{pl''^2}{2} = 4\,862.5 \times 0.75 - 100 \times \frac{0.75^2}{2} = 3\,618.9.$$

La section du longeron doit être variable, en raison des efforts que lui impose la tendance de l'arc à la déformation ; les forces dont nous nous occupons auront donc une influence variable dans les diverses sections.

On a déterminé ainsi qu'il suit les moments d'inertie et de résistance de ces sections.

INDICATION des sections.	FIGURES représentant les sections.	MOMENT D'INERTIE.		DISTANCE de l'axe neutre aux fibres les plus éloignées.	MOMENT de résistance.
		Éléments. $I=\frac{ab^3-a'b'^3-a''b''^3}{12}$	Résultat. I	v	$\frac{I}{v}=MR.$
				m.	
Section 4-3	Pl. 184 Fig. 4.	$I=\left[\frac{(0.25\times\overline{0.33}^3)-(0.075\times\overline{0.3}^3+0.120\times\overline{0.28}^3+0.02\times\overline{0.16}^3)}{12}\right]$	0.0003536	0.165	0.002143 R
Section 5-4	Fig. 5.	$I=\left[\frac{(0.25\times\overline{0.33}^3)-(0.085\times\overline{0.3}^3+0.120\times\overline{0.28}^3+0.02\times\overline{0.16}^3)}{12}\right]$	0.0003311	0.165	0.002066 R
Section 6-5 / Section 7-6	Fig. 6.	$I=\left[\frac{(0.25\times\overline{0.32}^3)-(0.095\times\overline{0.3}^3+0.120\times\overline{0.28}^3+0.02\times\overline{0.16}^3)}{12}\right]$	0.00024257	0.16	0.001516 R
Section 8-7 / Section 9-8	Fig. 7.	$I=\left[\frac{(0.25\times\overline{0.31}^3)-(0.095\times\overline{0.3}^3+0.120\times\overline{0.28}^3+0.02\times\overline{0.16}^3)}{12}\right]$	0.00018055	0.155	0.001164 R
Section 10-9	Fig. 8.	$I=\left[\frac{(0.135\times\overline{0.03}^3)-(0.120\times\overline{0.28}^3+0.02\times\overline{0.16}^3)}{12}\right]$	0.0001224	0.15	0.000816 R

On en a déduit ensuite le travail produit dans chaque section par le passage des machines, et l'on y a ajouté les efforts dus à la tendance des arcs à la déformation.

Voici le résumé de ces calculs :

INDICATION des sections.	TRAVAIL PAR FLEXION.			TRAVAIL DIRECT produit par les déformations d'ensemble sous les surcharges.		TRAVAIL TOTAL maximum dans chaque section.		
						CÔTÉ CHARGÉ		
	MOMENT de rupture. MF.	MOMENT de résistance. MR.	TRAVAIL de traction ou de compression aux points extrêmes de la section. MF/MR.	Traction (côté libre).	Compression (côté chargé).	Partie inférieure	Partie supérieure.	CÔTÉ LIBRE traction uniforme
			kil.	kil.	kil.	tr. k.	c. k.	tr. k.
10—9		0.000816	4.43	0.56	0.72	3.71	5.15	0.56
9—8		0.001164	3.10	0.98	1.23	1.87	4.33	0.98
8—7		0.001164	3.10	1.66	2.03	1.07	5.13	1.66
7—6	3.619	0.001516	2.38	2.72	2.58	c. 0.20	4.96	2.72
6—5		0.001516	2.38	3.06	3.57	1.19	5.95	3.06
5—4		0.002066	1.75	2.50	4.30	2.55	6.05	2.50
4—3		0.002143	1.68	2.19	3.75	2.07	5.43	2.19

DEUXIÈME PARTIE. — *Effets des variations de température.*

104. En prenant une poutre droite dont la longueur soit égale à la projection horizontale de la moitié d'une ferme et la section constante soit celle des arcs à la clef, on aura pour la flèche qu'elle peut prendre sous l'action d'une force verticale P appliqué à l'extrémité :

$$F = \frac{PL^3}{3EI};$$

mais

$$PL = \frac{RI}{v'}.$$

Dans ces formules :

$$R = 6\,000\,000,$$

$E = 20\,000\,000\,000$ $\qquad$ $L = 22^m.50.$

$I = 0\,00291$ (2e tabl. du n° 98). $\quad \frac{I}{v'} = 0\,0077592$ (3e tabl. du n° 98).

D'où

$$P = \frac{6\,000\,000 \times 0.0077592}{22.50} = 2\,070^k.$$

$$F = \frac{2\,070 \times 22.50^3}{3 \times 20\,000\,000\,000 \times 0.00291} = 0^m.135.$$

On en déduit pour la flèche du premier élément de cette poutre sous l'action de la force verticale P (la poutre étant divisée en dix parties égales).

$$f = 0.135 \times \frac{57}{3\,990} = 0.001928 \qquad (34).$$

Si l'on suppose les diverses sections de ce premier élément, soumises au même travail, on sera conduit à corriger ainsi cette première appréciation :

$$f' = f \times \frac{2\,160}{2\,087} = 0^m.002 \qquad (35).$$

105. On a cherché ensuite le moment de résistance de la section moyenne de chacun des éléments de l'arc. Pour la partie centrale, on a pu les déduire du troisième tableau du n° 98; voici les calculs relatifs aux sections des parties latérales.

D'abord la recherche de l'axe neutre de la section moyenne (Pl. 185, *fig.* 5 à 10).

INDICATION des sections.	SURFACE de chaque figure partielle. S	DISTANCE du centre de gravité partiel à l'horizontale supérieure. d	MOMENTS des surfaces partielles. $M = Sd$	DISTANCE de l'axe neutre à l'horizontale supérieure. $D = \frac{\Sigma M}{\Sigma S}$	DISTANCES de l'axe neutre total au centre de gravité de l'arc. $\delta = d - D$	DISTANCES de l'axe neutre total au centre de gravité du longeron. $\delta' = D - d$
				m.	m.	m.
6 { Arc.	0.042050	1.30	0.054665	0.932	0.368	0.767
Longeron. . .	0.020200	0.165	0.003333			
ΣS.	0.062250	ΣM. .	0.057998			
6 { Arc.	0.035950	1.75	0.0629125	1.289	0.461	1.129
Longeron. . .	0.014700	0.16	0.0023520			
ΣS.	0.050650	ΣM. .	0.0652645			
7 { Arc.	0.035950	2.35	0.0844825	1.714	0.636	1.554
Longeron. . .	0.014700	0.16	0.0023520			
ΣS.	0.050650	ΣM. .	0 0868345			
8 { Arc.	0.035950	3.00	0.107950	2.281	0.719	2.126
Longeron. . .	0.012200	0.155	0.001891			
ΣS.	0.048150	ΣM. .	0.109841			
9 { Arc.	0.035950	3.80	0.136610	2.876	0.924	2.721
Longeron. . .	0.012200	0.155	0.001891			
ΣS.	0.048150	ΣM. .	0.138501			
10 { Arc.	0.035950	4.60	0.165370	3.654	0.945	3.504
Longeron. . .	0.009700	0.15	0.001455			
ΣS.	0.045650	ΣM. .	0.166825			

106. Ensuite la recherche des moments d'inertie et des moments de résistance des mêmes sections.

SECTIONS et figures.	DISTANCE du centre de gravité de chaque figure à l'axe neutre total. δ	QUARRÉ de la distance δ δ^2	SURFACE de chaque figure partielle. S.	PRODUIT DU QUARRÉ de la distance δ par la surface de chaque figure partielle. $S\delta^2$	MOMENT D'INERTIE de chaque figure partielle par rapport à son axe propre. (Pour le longeron tabl. 103). Pour l'arc (*).	MOMENT D'INERTIE total par rapport à l'axe neutre commun. $\Sigma i + \Sigma\delta\delta^2$ I	DISTANCE de l'axe neutre aux fibres les plus éloignées de la Section. v'	MOMENT de résistance. $MR = R \frac{I}{v'}$
5 { Arc. . . . . . Longeron. . .	0.368 0.767	0.135424 0.588289	0.042050 0.020200	0.0056946 0.0118834	0.0014641 0.0003311	0.0193732	0.932	0.02078 R
6 { Arc. . . . . . Longeron. . .	0.461 1.128	0.212521 1.272384	0.035950 0.014700	0.0076401 0.0187040	0.0012757 0.0002426	0.0278624	1.289	0.02161 R
7 { Arc. . . . . . Longeron. . .	0.636 0.554	0.404496 2.414916	0.035950 0.014700	0.0145416 0.0354992	0.0012757 0.0002426	0.0515591	1.714	0.03008 R
8 { Arc. . . . . . Longeron. . .	0.719 2.126	0.516961 4.519876	0.035950 0.012200	0.0185847 0.0551425	0.0012757 0.0001805	0.0751834	2.281	0.03296 R
9 { Arc. . . . . . Longeron. . .	0.924 2.721	0.853776 7.403841	0.035950 0.012200	0.0306932 0.0903268	0.0012757 0.0001805	0.1224762	2.876	0.04259 R
10 { Arc. . . . . . Longeron. . .	0.945 3.504	0.893025 12.278016	0.035950 0.009700	0.0321042 0.1190967	0.0012757 0.0001224	0.1525990	3.654	0.04176 R

(*) Le moment d'inertie de l'arc est

1° pour la section 5. . . . . $I = 2\ (0.000186 + 0.0134 \times \overline{0.152}^2) + \frac{0.025 \times \overline{0.61}^3}{12} = 0.0014641.$

2° pour les sections de 6 à 10. . $I = 2\ (0.000186 + 0.0134 \times \overline{0.152}^2) + \frac{0.015 \times \overline{0.61}^3}{12} = 0.0012757.$

107. On en a alors déduit le mouvement que produirait aux extrémités de l'arc une force horizontale capable de produire à la clef un travail maximum de 6 kilogrammes.

Le tableau suivant résume ces calculs.

NUMÉROS des voussoirs. n	MOMENTS de résistance moyens. MR	RAPPORT entre le moment de résistance de la clef et celui du voussoir. $r = \frac{MR^o}{MR^n}$	ORDONNÉE moyenne de chaque voussoir. Y	RAPPORT entre l'ordonnée moyenne de chaque voussoir et celle de la clef. y	RAPPORT composé des moments de résistance et des ordonnées. ry	FLEXION du premier élément de la poutre droite sous un travail constant de 6 k. f'	FLEXION prise par l'extrémité de chaque élément de l'arc. $f'' - f'ry$	LONGUEUR de la ligne joignant le sommet des tangentes aux naissances. T	LONGUEUR de la tangente de chaque élément. t	RAPPORT. $\frac{T}{t}$	DISTANCE parcourue par l'extrémité de l'arc sous l'inflexion de chaque élément. $m = f'' \frac{T}{t}$
			m.				mm.	mm.	m.		mm.
0 (clef).	0.007759	1.00	4.85	1.00	1.00	D'après le n° 104 $f' - 0^m.002$.	»	»	»	»	»
1	0.00817	0.95	4.84	0.998	0.948		1.896	21.90	1.125	19.44	36.85
2	0.00993	0.80	4.80	0.98	0.784		1.568	19.67	1.135	17.33	27.17
3	0.01308	9.59	4.60	0.95	0.560		1.120	17.43	1.145	15.22	17 05
4	0.01786	0.43	4.30	0.90	0.387		0.774	15.20	1.155	13.16	10.19
5	0.02078	0.37	3.90	0.80	0.296		0.592	12.77	1.165	11.11	6.58
6	0.02161	0.36	3.45	0.71	0.255		0.510	10.65	1.175	9.06	4.62
7	0.03008	0.26	2.85	0.59	0.153		0.306	8.37	1.185	7.05	2.16
8	0.03296	0.23	2.17	0.45	0.103		0.203	6.00	1.193	5.02	1.02
9	0.04259	0.18	1.37	0.28	0.054		0.108	3.65	1.200	3.00	0.32
10	0.04176	0.18	0.48	0.10	0.018		0.036	1.20	1.20	1.00	0.04
							Mouvement total M.				106.00

Ce mouvement total serait de 106 millimètres. La construction graphique (Pl. 185, *fig.* 4) indique que le mouvement horizontal serait de $0^m.028$ et le mouvement vertical de $0^m.103$.

En admettant pour coefficient de dilatation du fer $\frac{1}{84600}$, une variation de température de 25° tendrait à allonger la corde de $0^m.00664$.

108. On en conclut que cette variation de température produirait à la clef un travail de

$$6^k \times \frac{0.00664}{0.028} = 1^k.42.$$

La flèche croîtra ou diminuera de :

$$\frac{0.103 \times 6.64}{28} = 0^m.0244.$$

De l'effort de $1^k.42$ et des données des tableaux précédents on déduit aisément le tableau suivant des plus grands effets des variations de température dans les diverses sections.

NUMÉROS des voussoirs.	TRAVAIL maximum à la clef.	RAPPORT $r_n\ y_n$ d'après le tableau 107.	TRAVAIL maximum produit sur chaque voussoir.
clef			kil.
0		1	1.42
1		0.948	1.34
2		0.784	1.11
3		0.560	0.79
4	$1^k.42$	0.387	0.55
5		0.296	0.42
6		0.255	0.36
7		0.153	0.21
8		0.103	0.14
9		0.054	0.07
10		0.018	0 025

TROISIÈME PARTIE. — *Effets du contreventement.*

109. Nous avons dit (50) que la force transversale que le système des quatre arcs devrait pouvoir supporter serait de 20 100 kilogrammes ou de 3 350 kilogrammes pour la part de chacun des six réseaux de triangles. On en déduit, par les décompositions de force indiquées (Pl. 186, *fig.* 3 à 6), les efforts que doivent pouvoir supporter les contrevents et ceux qu'ils transmettent aux arcs. On a résumé dans le tableau suivant la charge que donnent ces efforts par millimètre quarré de la section des arcs.

INDICATION des sections.	EFFORTS de compression produits sur les arcs de tête par les flexions transversales de l'ensemble.	SURFACE de chaque section.	TRAVAIL des arcs de tête pour résister aux flexions transversales.
clef	kil.	millim.	kil.
0	31.200	59.400	0.52
1	31.200	61.370	0.50
2	30.200	69.250	0.43
3	30.200	77.650	0.39
4	26.400	48.150	0.54
5	26.400	42.050	0.62
6	15.600	35.950	0.43
7			0.43
8	9.200	35.950	0.25
9			0.25
10	3.800	35.950	0.10

110. — ***Tableau récapitulatif des efforts maxima de diverses provenances qu'auront à supporter les différentes pièces du système.***

ARCS.							LONGERONS.						MONTANTS.			LIENS OBLIQUES.	
Indication des parties.	PESANTEUR.		TEMPÉRATURE.	CONTREVENTEMENT	TRAVAIL TOTAL.		Indications des parties.	PESANTEUR.		TEMPÉRATURE.	TRAVAIL TOTAL.		PESANTEUR.			PESANTEUR.	
	Traction	Compr.	Traction et Compr.	Traction et Compr.	Traction	Compr.		Traction	Compr.	Traction et Compr.	Traction	Compr.		Traction	Compr.	Traction	Compr.
	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	kil.	kil.	kil.		kil.	kil.	kil.	kil.
clef. 0	»	3.00	1.42	0.52	»	4.94	»	»	»	»	»	»		»	»	»	»
0-1	1.15	4.71	1.34	0.50	2.95	6.55	»	»	»	»	»	»		»	»	»	»
1-2	2.27	5.31	1.11	0.43	3.81	6.85	»	»	»	»	»	»		»	»	»	»
2-3	2.62	5.29	0.79	0.39	3.80	6.47	»	»	»	»	»	»		»	»	»	»
3-4	2.35	4.79	0.55	0.54	3.44	5.88	3-4	2.19	5.43	0.55	2.74	5.98	4	»	2.48	»	»
4-5	»	5.27	0.42	0.62	»	6.31	4-5	2.50	6.05	0.42	2.92	6.47	5	1.00	2.53	5 07	1.26
5-6	»	5.25	0.36	0.43	»	6 04	5-6	3.06	5.95	0.36	3.42	6.31	6	0.99	2.40	3.20	1.47
6-7	»	5.21	0.21	0.43	»	5.85	6-7	2.72	4.96	0.21	2 93	5.17	7	1.19	2.27	2.27	1.53
7-8	»	5.13	0.14	0.25	»	5.52	7-8	1.07	5.13	0.14	1 21	5.27	8	0.95	1.56	1.94	1.80
8-9	»	5.21	0.07	0.25	»	5.53	8-9	1.87	4.33	0.07	1.94	4.40	9	0.95	1.65	1.12	1.16
9-10	»	5.23	0.02	0.10	»	5.35	9-10	3.71	5.15	0.02	3.73	5.17	10	1.29	1.50	1.21	1.25

QUATRIÈME PARTIE. — *Vérification des sections.*

111. *Section des arcs.* — On a vu (50) que les arcs peuvent être considérés comme ne portant pas plus de 5 kilogrammes de charge uniforme par millimètre quarré, ce qui permettrait de les laisser libres sur une longueur égale à vingt-quatre fois le côté du rectangle de même surface et de même moment de résistance (tableau n° 47).

D'après la *fig.* 11, Pl. 185, on a pour le moment d'inertie de la section courante par rapport à l'axe AB :

Inertie des quatre rails =

$= 4(I+s\delta^2) = 4(0.00001048 + 0.067 \times 0.0585^2)$ 0.00013362

Inertie de l'âme =

$= \frac{ab^3}{12} = \frac{0.61 \times 0.015^3}{12}$ 0.00000017

Total. 0.00013379

Le moment de résistance sera :

$$MR = \frac{I}{v} = \frac{0.00013379}{0.1275} = 0.001049 \text{ R.}$$

Les dimensions du rectangle équivalent seront :

$$b = \frac{6 \times 0.001049}{0.035950} = 0^m.174 \text{, et } a = \frac{0.035950}{0.174} = 0.201$$

Notre arc pourrait donc rester libre sur une longueur égale à $24 \times 0.174 = 4^m.17$.

Or le plus grand écartement des points d'application des montants sur l'arc est de $2^m.35$; la partie libre en dehors des assemblages n'a qu'une longueur de $1^m.70$; il y a donc toute sécurité.

Indication des pièces.	Figures représentant leurs sections.	Surface des sections en millimètres quarrés. S	Travail de compression q	MOMENTS DE RÉSISTANCE dans le sens de moindre roideur. ÉLÉMENTS $MR = \frac{ab^3 + a'b'^3 + a''b''^3}{6b}$	RÉSULTAT MR	DIMENSIONS de la section rectangulaire ayant même surface et même moment de résistance que la section de la pièce considérée. Épaisseur $b = \frac{6MR}{S}$	Largeur $a = \frac{S}{b}$	Longueur de la pièce considérée L	Rapport entre la longueur et l'épaisseur de la pièce prismatique équivalente n L/b	Coefficient correspondant à la valeur n d'après le tableau du n° 47 r	Rapport entre le travail réel de la pièce et celui que la valeur n aurait permis d'admettre q/r
				Longerons.							
3-4	Pl. 184, fig. 9	23.200	4.30(1)	$R\left[\frac{0.16\times\overline{0.035}^3+0.12\times\overline{0.055}^3+0.02\times\overline{0.175}^3+0.03\times\overline{0.25}^3}{6\times0.25}\right]$	0.0004018 R	0.1039	0.223	2.25	21	5.30	0.80
4-5	10	20.200	4.72	$R\left[\frac{0.16\times\overline{0.025}^3+0.12\times\overline{0.015}^3+0.02\times\overline{0.165}^3+0.03\times\overline{0.25}^3}{6\times0.25}\right]$	0.0003813 R	0.1133	0.178	2.25	19	5.54	0.85
5-6 / 6-7	11	14.700	3.93 / 2.79	$R\left[\frac{0.16\times\overline{0.015}^3+0.12\times\overline{0.035}^3+0.02\times\overline{0.155}^3+0.02\times\overline{0.25}^3}{6\times0.25}\right]$	0.0002617 R	0.1068	0.138	2.25	21	5.30	0.74 / 0.53
7-8 / 8-9	12	12.200	2.17 / 1.30	$R\left[\frac{0.16\times\overline{0.015}^3+0.12\times\overline{0.035}^3+0.02\times\overline{0.155}^3+0.01\times\overline{0.25}^3}{6\times0.25}\right]$	0.0001576 R	0.0775	0.157	2.25	29	4.36	0.50 / 0.29
9-10	13	9.700	0.71	$R\left[\frac{0.16\times\overline{0.015}^3+2\times0.00\text{[illegible]}\times\overline{0.035}^3+2\times0.01\times\overline{0.153}^3}{\text{[illegible]}}\right]$	0.0000801 R	0.0533	0.182	2.25	42	3.60	0.20

4			2.48					0.44	8	7.00	0.35
5	15	7.482	2.53	$R\left[\frac{0.012\times\overline{0.175}^3+0.138\times\overline{0.039}^3}{6\times0.175}\right]$	0.000069 R	0.0553	0.135	0.84	15	6.10	0.41
6			2.40					1.34	24	5.54	0.43
7			2.27					1.92	35	4.10	0.55
8			1.56					2.60	39	3.82	0.41
9	14	11.550	1.65	$R\left[\frac{0.015\times\overline{0.215}^3+0.135\times\overline{0.045}^3}{6\times0.215}\right]$	0.0001286 R	0.0668	0.173	3.36	50	3.10	0.53
10			1.50					4.30	65	2.40	0.62

Liens obliques.

4-5			1.26					2.08	37	3.96	0.32
5-6	15	7.482	1.47	$R\left[\frac{0.012\times\overline{0.175}^3+0.138\times0.039}{6\times0.175}\right]$	0.000069 R	0.0553	0.135	2.20	39	3.82	0.38
6-7			1.43					2.44	44	3.47	0.44
7-8			1.80					2.80	51	3.05	0.59
8-9	14	11.550	1.16	$R\left[\frac{0.015\times\overline{0.215}^3+0.185\times\overline{0.045}^3}{6\times0.215}\right]$	0.0001286 R	0.067	0.173	3.30	49	3.16	0.37
9-10			1.25					3.96	59	2.70	0.56

(1) Les efforts de compression indiqués dans la colonne 13 du tableau 110, ne sont pas ceux qu'il y a lieu de considérer pour apprécier la roideur transversale du longeron, car ils comprennent des efforts de flexion qui ne s'exercent qu'aux extrémités de la section, et en des points de la portée où la pièce n'est pas le plus susceptible de fléchir (103, Pl. 185, fig. 12).

On doit remarquer d'ailleurs, que si ces efforts de flexion réduisent, à la partie supérieure, le travail disponible pour la résistance transversale, ils restituent à la partie inférieure une résistance comparable, ce qui nous porte à admettre que la pièce se comporte, sous le rapport de la roideur, comme si elle n'était soumise qu'aux efforts directs de compression.

Nous croyons nous placer ici dans une condition défavorable, en ajoutant aux efforts trouvés par les décompositions de forces (tableau 102), ceux produits par les variations de température (108).

112. *Section des contrevents.* — La section d'un contrevent est un T de $0^m.15$ de tablette, $0^m.08$ de nervure et $0^m.012$ d'épaisseur; la surface de cette section est de 2616 millimètres quarrés; l'effort le plus grand, supporté par ces pièces, sera (Pl. 186, *fig.* 6) une compression de 4300 kilog., soit $\frac{4300}{2616} = 1^k.64$ par millimètre quarré.

Les calculs donnent pour dimensions du rectangle équivalent $b = 0^m.0458$, $a = 0^m.057$.

Le travail de $1^k.40$ correspond à une longueur $n = 88$; les contrevents supporteraient donc ce travail sans fléchir sous une longueur totale égale à $88 \times 0.0458 = 4^m.03$, c'est-à-dire notablement supérieure à leur longueur réelle.

113. *Sections des longerons, montants et liens obliques.* — On a réuni dans le tableau des pages 246 et 247 les calculs analogues pour les autres pièces du tablier. Ainsi que nous l'avons déjà indiqué (56), la dernière colonne donne le rapport entre les charges maxima d'exploitation et les charges admissibles.

114. *Pivots des arcs.* — La plus grande résultante sur les appuis est de 188 000 kilogrammes. Les pivots doivent donc avoir des dimensions qui leur permettent de supporter cet effort avec sécurité. Or (Pl. 185, *fig.* 12) leur diamètre est de $0^m.200$ et leur longueur de $0^m.302$; leur section est ainsi de 60400 millimètres quarrés, et leur travail maximum de $\frac{188000}{60400} = 3^k.11$ par millimètre quarré.

115. *Pression sur la pierre de taille.* — La semelle des sabots présente une surface d'appui de $1^m.40 \times 1^m.00 =$ 14000 centimètres quarrés. Sous la résultante maxima de 188000 kilogrammes, la pression supportée par la pierre de taille sera de $\frac{188000}{14000} = 13^k.4$ par centimètre quarré.

CINQUIÈME PARTIE. — *Calcul des assemblages.*

116. *Espacement des rivets des arcs.* — Cherchons les dimensions du rectangle équivalent à un rail Barlow ; on a pour inertie du rail, par rapport à un axe parallèle à sa base et passant par le centre de gravité de sa section, $I = 0.00001048$ (97), et pour distance du centre de gravité aux fibres les plus éloignées :

$$v = 120 - 51 = 0.069 \qquad (97).$$

Son moment de résistance sera donc :

$$MR = \frac{0.00001048}{0.069} = 0.000152\ R.$$

Les côtés du rectangle équivalent seront ainsi :

$$b = \frac{6 \times 0.000152}{0.0067} = 0^{m}.36; \text{ et } a = \frac{0.0067}{0.136} = 0^{m}.05.$$

Pour un travail moyen de 5 kilogrammes par millimètre quarré que nous avons admis (50), on a $n = 24$; on pourrait donc laisser entre les rivets un écartement de $24 \times 0,136 = 2^{m}.31$. Mais la forme contournée de ces rails pourrait être altérée sans que le travail uniforme de compression dépassât 5 kilogrammes. La tendance à flexion pourrait avoir pour effet (Pl. 185, *fig.* 13) de faire rentrer davantage les parties concaves, et recourber les extrémités de la semelle. En outre, l'âme comprise entre les rails tendrait à fléchir sous une longueur bien moindre. La division en parties égales des espaces libres des arcs et les considérations qui précèdent ont conduit à un écartement moyen de $0^{m}.40$.

117. *Rivets des montants et liens.* — Le montant n° 5, un de ceux qui subissent les plus grands efforts de compression, pourra travailler à raison de $2^{k}.53$ par millimètre quarré, travail qui permet de faire $n = 62$. Les côtés du rectangle équivalent à l'un des T sont $0^{m}.057$ et $0^{m}.0458$ (112).

On pourrait donc laisser un intervalle de $62 \times 0.0458 = 2^m.84$ entre les rivets. Mais la fourrure plane, comprise entre les 2T fléchirait sous une longueur bien moindre. On a mis des rivets tous les $0^m.40$, et on les a croisés d'un côté à l'autre de manière à réduire leur écartement à $0^m.20$ environ.

118. *Goussets d'assemblage.* — Prenons la pièce oblique 5-4 qui subit, parmi toutes celles des tympans, le plus grand effort de traction, s'élevant à 38 000 kilogrammes. On a mis dix rivets qui résistent par deux sections. En les faisant travailler à 6 kilogrammes, on aurait pour section de chaque rivet $\frac{38000}{6} \times \frac{1}{2 \times 10} =$ environ 317 millimètres quarrés, ce qui correspond à un diamètre de 20 millimètres. On a donné 23 millimètres pour tenir compte de l'incertitude où l'on se trouve sur la répartition des efforts. On serait conduit à un diamètre de $0^m.018$ pour les huit rivets qui fixent l'extrémité de la pièce 6-5, qui doit supporter une traction de 24000 kilogrammes. On opérerait de même pour trouver les rivets nécessaires aux autres goussets.

119. *Rivets des longerons.* — Près des culées, ces pièces travaillent surtout par flexion; près du sommet, par traction ou compression.

Étudions la partie 10-9. Si l'on calcule d'abord les rivets dans le but d'établir une solidarité suffisante entre les cornières et l'âme, pour que tout glissement de l'une des pièces sur l'autre soit impossible, il faudra écrire qu'entre les points d'application des surcharges et l'extrémité d'une division la double section des rivets sera égale à celle des deux cornières. La surface des deux cornières est de 2600^{mm^2}; cinq rivets de $0^m.018$ dans chacune des parties extrêmes seront suffisants; par suite, il suffira d'en placer $\frac{5}{2}$, soit trois rivets dans la partie centrale.

L'écartement de ces derniers sera d'environ $0^m.25$. Si nous calculons maintenant l'écartement à donner aux rivets pour empêcher la déformation des mêmes pièces, nous trouverons que le travail moyen des cornières étant d'environ 5 kilogrammes, chaque cornière étant équivalente à un rectangle dont les côtés seraient $0^m.054$ et $0^m.024$, n étant égal à 24, on pourrait écarter les rivets de $24 \times 0.054 = 1^m.30$. Mais l'âme tendrait à fléchir sur une longueur beaucoup moindre. Il est donc bon que l'écartement soit réduit. La distance de $0^m.25$ paraît rassurante.

On trouverait de même qu'il convient de mettre six rivets de $0^m.018$ pour attacher les cornières sur l'âme dans chacune des divisions extrêmes de l'intervalle 9-8.

Dans la partie 5-4, ce sont les efforts directs qui dominent. Les plates-bandes ont $0^m.015$ d'épaisseur et leur travail maximum atteint 6 kilomètres, ce qui permet $n = 16$, soit $0^m.24$ pour l'écartement des rivets. La roideur des cornières permettrait un écartement de $16 \times 0.054 = 0.864$. Pour tenir compte de la tendance de l'âme à se déformer, on a admis un intervalle de $0^m.15$ pour les rivets fixant les cornières sur les plates-bandes, et un intervalle de $0^m.30$ pour les rivets reliant les cornières à l'âme.

La Pl. 183 indique suffisamment les autres détails qui se justifieraient par des calculs analogues à ceux que nous venons d'exposer.

CHRONIQUE.

Septembre et Octobre 1860.

SOMMAIRE.

La mer de Harlem desséchée. — M. l'ingénieur en chef Mille, à la suite d'une excursion en Hollande, veut bien nous remettre la note suivante :

Le desséchement du lac de Harlem, entrepris en 1840, excita beaucoup alors l'attention publique. Il s'agissait de vider une mer de 4 mètres de profondeur et de 18 000 hectares d'étendue. Jamais plus grand travail n'avait été demandé à la vapeur.

Douze ans après, le lac était à sec. On vendait les terrains, et, en regard d'une dépense de 23 millions, on retrouvait 15 millions de terres conquises ; on n'avait sacrifié que 8 millions pour couvrir les frais de défenses de trois villes (Amsterdam comprise) contre la menace d'inondation des vagues furieuses de chaque hiver.

Depuis six ans que la vente est complète, il est possible de juger l'opération par ses résultats agricoles. Une visite au lac de Harlem est facile; en une demi-heure on est transporté de la ville au canal de ceinture, belle nappe d'eau de 40 mètres, sur laquelle flottent paisiblement les galiotes hollandaises. Un bac fait la traversée, et, une fois au delà des digues, on éprouve une surprise qui va croissant. On roule sur des empierrements de gravier, côte à côte des canaux intérieurs, où l'eau agitée et propre se tient à $1^{m}.50$ en contre-bas des berges. A droite et à

gauche les prairies alternent avec les cultures, tandis qu'à tous les coins de l'horizon, on aperçoit des maisons ou des fermes de la Nord-Hollande, espèces de parapluies en tuiles rouges et de forme quarrée, où tout tient sous le même toit, logement, étables, écuries et grenier. Trois flèches signalent trois églises, dont deux catholiques et une protestante. Vous trouvez des bureaux de poste, vous apprenez qu'il y a deux communes complétement organisées, un syndicat pour la défense du polder, un journal qui paraît une fois par semaine et qui s'occupe spécialement des intérêts de la colonie. Les récits de l'Australie sont dépassés.

Les renseignements abondent et ils sont précis, parce que les Hollandais, gens d'affaires et de commerce, tiennent à se rendre compte. Aussi les chiffres que nous allons citer sont-ils exacts jusqu'aux unités.

A la fin de 1859, il y avait sur l'étendue du lac 7 200 habitants occupant 1 660 maisons. La population avait gagné 1 000 émigrants dans l'année; nous parlions tout à l'heure de trois églises; on en bâtit une quatrième, qui est protestante, et à côté de l'église sont toujours les écoles, fréquentées dès à présent par 300 enfants.

Le lac figure une ellipse dont le petit axe a 10 kilomètres et le grand 20 kilom., ellipse où trois des sommets sont occupés par les trois grosses machines d'épuisement: le Cruikhus, le Lynden et le Legwater. La superficie est de 18 000 hectares; 1000 hectares appartiennent aux digues, aux canaux, aux routes, aux terrains de services publics, tandis que 17 000 hectares, livrés à la culture, sont aussi soumis à l'impôt de défense de 20 fr. par hectare.

Leur état de mise en valeur est ainsi fixé :

	hectares.
Prairies de trèfle	8 100
Céréales (froment, seigle et avoine)	6 900
Racines (pommes de terre, carottes)	600
Plantes industrielles (colza, lin, garance)	1 000
Cultures diverses (pépinières, légumes)	400
Total	17 000

On voit que les prairies balancent à peu près les cultures, grâce à la résistance des propriétaires qui imposent la prairie à leurs fermiers, très-disposés par eux-mêmes à abuser de la fer-

tilité du sol pour faire des plantes industrielles; car le colza est presque toujours une première récolte et qui paye bien; le lin et la garance réussissent également; les céréales, d'ailleurs, tiennent une large place. On désire pourtant quelque chose de plus : ce sont des arbres; ils viennent rapidement, mais on n'en plante pas assez. On ne reconnaît la jeunesse du desséchement qu'à l'absence d'abri et d'ombrage.

La statistique du bétail est curieuse; les exploitations qui tiennent de 50 à 150 hectares renferment :

Vaches laitières, bœufs et taureaux	3400
Moutons et cochons	9300
Chevaux	2000

Les vaches laitières, belle et puissante race, à la robe blanche et noire, passent sept mois sur la pâture, où l'on va les traire deux fois par jour pour la fabrication du beurre et du fromage. Suivant l'usage de Hollande, les moutons et les chevaux d'élève vivent sur le pré à côté des vaches.

Voilà donc un pays neuf, qui date à peine de six ans et qui présente déjà près d'une demi-tête de bétail par hectare. Que de départements en France voudraient être arrivés là!

La défense du polder, confiée à un syndicat, muni d'une assez forte autorité disciplinaire, coûte de l'argent. Examinons le budget de 1860 :

Recettes.	fr.	*Dépenses.*	fr.
Solde créditeur de 1859	50 000	Frais d'administration	44 000
Contributions de 17 000 hect. à 20f	340 000	Entretien des digues	70 000
Location de talus	24 000	Frais d'épuisement et charbon	200 000
Emprunt et subsides	126 000	Travaux neufs	192 000
Amendes, permissions	10 000	Service de l'emprunt et imprévu	44 000
Total	550 000	Total égal	550 000

Ainsi le syndicat manie un budget de 550 000 francs; il travaille comme une compagnie ancienne; il a du crédit sur la place, et, au moyen des ressources supplémentaires ainsi créées, il peut améliorer; il fait doubler le nombre des chaudières, parce que la force de vaporisation est insuffisante. Il contribue à la construction des églises et des écoles, et s'efforce surtout à développer les chemins empierrés, première condition de vie et de mouvement à la campagne.

Sans doute, les 7 000 émigrants qui sont venus se fixer dans

le lac vivaient ailleurs, et ils se sont simplement déplacés; mais ailleurs ils étaient pauvres et peut-être inoccupés. Ici ils ont rencontré du travail et des salaires; quelques-uns se sont élevés au rang de fermiers et même de propriétaires. Qu'on ne pense pas que la maladie soit arrivée avec eux; aucune des figures que nous avons vues ne tremblait la fièvre. M. Amersford, l'un des plus habiles colons du lac et qui donne gratuitement la quinine à ses ouvriers, nous montrait en octobre le flacon de quinine intact depuis le commencement de septembre. Il faut prendre garde d'attribuer à une seule localité une influence qui tient au pays. Le climat de la Hollande veut du vent et de la pluie; la sécheresse fait baisser le niveau des fossés, et amène la décomposition végétale. Les étés si chauds de 1857, 1858 et 1859 ont été insalubres en Frise, à Groningue, comme à Harlem. L'été froid et humide de 1860 a emporté toutes les maladies.

S'il en était autrement, si le desséchement produisait la fièvre, la Hollande, depuis le XIVe siècle, n'aurait travaillé qu'à décimer sa population; car, depuis lors, voici ce qu'on a fait :

	hectares.	
Desséchements avant 1566. . . .	25 000	Invention du moulin à vent.
Desséchements de 1566 à 1584.	300	Guerre de l'Indépendance.
Desséchements de 1584 à 1648.	44 000	La Hollande victorieuse, paix de Munster.
Desséchements de 1648 à 1748.	10 000	Décadence commerciale.
Desséchements de 1748 à 1815.	21 000	Guerres de la révolution française.
Desséchements de 1815 à 1858.	65 000	Restauration de la maison d'Orange.
Total.	165 300	

Les premiers desséchements s'exécutèrent en Frise, où fut inventé le moulin à vent. Dans le Nord-Hollande, où grandissait Amsterdam, les polders sont payés avec les bénéfices de la pêche du hareng. En 1566 éclate la guerre de l'Indépendance; toutes les ressources sont appliquées à sauver le pays : plus de polders nouveaux. Mais quand la Hollande, victorieuse de Philippe II, se place par la paix de Munster au rang qu'occupe aujourd'hui l'Angleterre, alors les desséchements se tentent avec hardiesse, et l'on retire de l'eau 44 000 hectares.

Après, vient le déclin : le commerce change de mains, et la révolution française annule l'activité du pays. Les desséchements languissent; ils ne reprennent avec énergie qu'à partir de 1815, sous la maison d'Orange restaurée. Le roi Guil-

laume Ier eut le mérite de vouloir la conquête du Zuid-Plaas auprès de Rotterdam, et celle du lac de Harlem aux portes de la Haye et d'Amsterdam.

Ainsi les desséchements ont toujours mesuré l'état de la prospérité publique en Hollande. Ce n'est donc pas la misère et la maladie, mais la santé et la fortune qui viennent à ceux qui ont le courage de conquérir le sol et de le soumettre au travail.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE.

SEPTEMBRE ET OCTOBRE 1860.

CALIGNY (DE). Notice historique et critique sur les machines à compression d'air du mont Cenis; par le marquis Anatole de Caligny, correspondant de l'Académie royale des sciences de Turin. Extrait de la *Notizia storica dei lavori fatti della classe di Scienze fisiche e matematiche della R. accademia delle Scienze di Torino dell' anno* 1859.— Turin, impr. royale.

PERDONNET. Traité élémentaire des chemins de fer; par Aug. Perdonnet, ancien élève de l'École polytechnique, professeur à l'École centrale des arts et manufactures, administrateur des chemins de l'Est de la France et de l'Ouest de la Suisse, membre du comité de direction des chemins de fer de l'Est de la France, président honoraire de la Société des ingénieurs civils de France, etc. 2e *édition*. Tome second. — Paris, Garnier frères.

FLACHAT (Eugène). N° 11 de la traversée des Alpes par un chemin de fer. — Développements. — Étude du passage du Simplon. — Neuilly, impr. Guiraudet.

Distribution de l'eau potable dans les fontaines publiques, les établissements industriels et les maisons particulières de Berlin. Dessins et constructions des bâtiments, bassins, réservoirs, machines, pompes et filtres de l'usine établie en 1855 par une société anglaise. 25 pl. In-plano, avec texte en français et en allemand. 40 fr.

Application et résistance de la fonte; par Guettier. 1 vol. grand in-8 et atlas in-folio de 16 pl.

Cours de construction; par Demanet, lieutenant colonel du génie. 2 volumes grand in-8 et atlas in-folio de 60 planches. 2e *édition*.

GIFFARD. Notice théorique et pratique sur l'injecteur automoteur, breveté, propre à l'alimentation des chaudières à vapeur et à l'élévation de l'eau; par M. H. Giffard. In-8, 85 p. et 2 pl. — Paris, impr. Mallet-Bachelier; H. Flaud, rue Jean-Goujon, 27.

N° 266

QUELQUES RENSEIGNEMENTS

Sur le Pô et les autres fleuves du nord de l'Italie.

Par M. COMOY, inspecteur général des ponts et chaussées.

Avant-propos. — Peu de fleuves ont autant occupé l'attention publique que le Pô ; et il n'y en a pas où l'on ait construit plus d'ouvrages pour contenir et diriger les eaux.

Chargé d'étudier le régime de la Loire qui, elle aussi, a des endiguements considérables, je ne pouvais négliger cette source d'utiles enseignements.

Les moyens d'investigation ne manquaient pas ; car le Pô a été l'objet d'un grand nombre de publications où tout a été décrit, son régime, ses ouvrages et ses transformations si intéressantes (*).

(*) Je ne pourrais donner la liste complète des nombreux ouvrages publiées par les ingénieurs italiens et français sur les travaux hydrauliques de l'Italie. Parmi les plus récents, je citerai :

Les mémoires de M. Paléocapa, intitulés:

Della chiusura del canale Castagnaro diversivo dell' Adige, proposta nel 1835 ;

Delle vicende che se succedettero dopo la chiusura stabile del Castagnaro compiuta nel 1838 ;

Delle bonificazioni dei territorii, che scolano in Tartaro e canal Bianco, a Castagnaro chiuso.

Les mémoires de M. Lombardini intitulés:

Intorno al sistema idraulico del Po ;

Altre osservazioni sul Po ;

Cependant je ne trouvais pas dans ces écrits tout ce qui était nécessaire pour comparer sous les rapports essentiels les régimes du Pô et de la Loire. Rien d'ailleurs ne peut suppléer la vue des lieux. J'ai en conséquence sollicité et obtenu de M. le ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics l'autorisation de faire une tournée dans l'Italie centrale.

La première chose qui m'a frappé dans cette visite, c'est la configuration des vastes et magnifiques plaines qui, à divers étages, accompagnent le Pô sur toute sa longueur. Les écrits que j'avais lus n'avaient pas présenté à ma pensée, je l'avoue, les formes réelles de ce remarquable bassin.

Je n'ai pas été moins surpris à l'aspect des endiguements et des fonctions diverses qu'on leur fait remplir. Pour en avoir conçu des idées exactes avant de les avoir vus, il

---

Importanza degli studj sulla statistica dei fiumi;

Notizia sulla piena dei fiumi di Lombardia, avvenuta dal 31 *ottobre al* 2 *novembre* 1855;

Dei cangiamenti cui soggiacque l'idraulica condizione del Po, nel territorio di Ferrara.

M. Lombardini a en outre rédigé une description du régime naturel et du régime artificiel des fleuves de la Lombardie, qui est insérée dans le recueil intitulé : *Notizie naturali et civili su la Lombardia.*

Les mémoires de M. Barilari, intitulés:

Sul Reno e sui provvedimenti da adottarsi;

La piena del Reno Bolognese delli 27 *decembre* 1859.

Le mémoire de M. Brighenti intitulé:

Sull' effetto del diboscamento e dissodamento dei monti, rispetto all' altezza delle piene maggiori dei fiumi arginati.

La notice de M. Baumgarten *Sur le Pô et les rivières de la Lombardie*, insérée au 2e cahier des *Annales des ponts et chaussées*, année 1847.

L'ouvrage de M. Nadault de Buffon intitulé : *Traité théorique et pratique des irrigations.*

aurait fallu mieux comprendre que je ne pouvais le faire alors, la disposition et l'étendue des terrains submersibles.

Mon attention s'est en outre portée sur une question fort controversée : celle de savoir si le lit du Pô s'exhausse.

Sur tous ces points, mon voyage quoique rapide, m'a procuré des lumières suffisantes. Mais j'ai reconnu en même temps combien il est difficile de décrire ces choses de manière à en donner une intelligence complète, tant elles diffèrent de ce que nous avons ordinairement sous les yeux.

Je vais cependant essayer de le faire ; et sans me flatter de réussir, je ne négligerai rien pour définir, dans leurs dispositions essentielles, les formes naturelles du terrain et les ouvrages qui intéressent plus particulièrement le régime des eaux.

Cette note n'a d'ailleurs pas d'autre but que de fixer les idées sur les plaines et les endiguements du Pô, ainsi que sur la question d'exhaussement du lit des fleuves endigués de l'Italie. Il n'y faut pas chercher une description complète du Pô et de ses ouvrages. D'autres, plus compétents, l'ont déjà donnée, et leurs écrits renferment sur cette matière tous les documents historiques et tous les détails que l'on peut désirer.

Mon travail d'examen a été singulièrement facilité par l'obligeance des ingénieurs italiens et de nos camarades les ingénieurs français qui résident en Italie. Je les prie d'en recevoir ici mes sincères remercicments. Mais je témoignerai particulièrement toute ma gratitude à M. Lombardini dont la haute expérience m'a été si utile dans ces recherches, et qui a mis à ma disposition, avec l'obligeance la plus parfaite, les études si intéressantes auxquelles il travaille encore et dont il faut espérer qu'il enrichira bientô la bibliothèque des ingénieurs.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES PLAINES DU PÔ.

Quand on jette les yeux sur une carte d'Italie, et que l'on voit les nombreuses rivières qui, partant des Alpes et des Apennins, viennent s'embrancher sur toute la longueur du Pô (Pl. 187) on est porté à se représenter ce pays comme divisé en une série de petites vallées séparées par des contre-forts plus ou moins élevés, s'étendant jusqu'à proximité du lit du fleuve. C'est ainsi que les choses se passent sur nos rivières de France et sur la plus grande partie des rivières du globe.

Mais dans le bassin du Pô, les choses sont autrement disposées ; et c'est un point sur lequel je ne saurais trop fortement appeler l'attention.

A d'assez grandes distances du fleuve, les montagnes des Alpes et des Apennins cessent tout à coup. Aucune ramification ne s'en prolonge jusqu'au fleuve pour continuer le faîte qui, dans la région montagneuse, sépare deux affluents consécutifs. Tout l'intervalle compris entre les pieds des deux chaînes de montagnes constitue une vaste plaine ayant de 60 à 80 kilomètres de largeur sur la plus grande partie de sa longueur, et dans laquelle le Pô et ses affluents se sont formés leur lit, sans en altérer sensiblement la régularité générale.

Cette plaine est exclusivement formée de dépôts diluviens et alluviens.

Il n'existe pas en France d'exemple de dépôts ayant en même temps cette importance et cette régularité.

En Italie, il y avait pour les former, l'enceinte complète et les larges massifs des Alpes et des Apennins. La grandeur de l'effet est en harmonie avec celle de la cause.

La vaste plaine ainsi constituée participe, dans le sens

longitudinal, de la pente générale du Pô. Dans le sens transversal elle présente deux pentes douces se dirigeant du pied des montagnes vers le fleuve.

Au milieu de cette grande plaine, existe un large sillon dans lequel serpente le lit du Pô, et que les crues de ce fleuve peuvent submerger.

De chaque côté du lit ordinaire du Pô on trouve donc d'abord une plaine basse et submersible ; puis une plaine plus élevée que les crues du fleuve ne peuvent atteindre, et qui s'étend jusqu'au pied des montagnes.

Sur la rive gauche, la haute plaine existe déjà près de Turin. Mais elle n'y a qu'une faible largeur, 10 kilomètres environ. A partir de Turin elle prend plus d'importance et acquiert entre la Sesia et le Tessin une largeur de 40 à 60 kilomètres qu'elle conserve jusque vers Crémone. Elle se rétrécit ensuite et n'a plus que 20 kilomètres de largeur vers Mantoue.

Sur la rive droite la haute plaine ne commence qu'en aval du confluent du Pô et du Tanaro. Elle est bientôt annihilée par les dernières ramifications des Apennins, entre Stradella et Castel S. Giovanni ; mais elle reparaît ensuite et règne d'une manière continue jusqu'à Bologne, avec une largeur de 10 à 15 kilomètres entre Plaisance et Parme, et d'environ 20 kilomètres en aval de la dernière de ces villes.

La basse plaine que le Pô submerge dans ses crues n'a que de faibles dimensions en amont du Tanaro, excepté de Casale à Valence, où sa largeur est d'environ 5 kilomètres.

En aval du Tanaro, elle va toujours en s'agrandissant. Sa largeur est de 10 kilomètres à Plaisance, de 15 kilomètres à Crémone, de 25 kilomètres à Casal maggiore, de 35 kilomètres vers Mantoue, de 50 kilomètres vis-à-vis Legnano.

Cependant la haute plaine ne conserve pas partout la même élévation au-dessus de la plaine submersible. Elle s'abaisse peu à peu en s'approchant des parties inférieures du fleuve. Enfin il arrive un moment où, par une pente très douce, elle vient se perdre dans la basse plaine. A partir de Legnago, sur la rive gauche, et de Cento, sur la rive droite, toute la plaine, jusqu'à la mer, serait sous les eaux pendant les crues, sur près de 100 kilomètres de longueur, si les cours d'eau qui la traversent dans tous les sens n'étaient pas contenus entre des digues.

Revenons maintenant à la haute plaine et examinons comment s'y comportent les nombreux affluents qui la traversent, depuis la sortie des montagnes jusqu'à la plaine submersible.

Parmi les affluents qui descendent des Alpes, il y en a quatre sur le cours desquels se trouvent des lacs.

Le Tessin traverse le lac Majeur, l'Adda, le lac de Côme; l'Oglio, le lac d'Iseo; le Mincio, le lac de Garde.

Dans leur partie inférieure, hors des montagnes, ces affluents ont beaucoup d'analogie avec le Pô. Ils sont, comme lui, profondément encaissés dans la haute plaine que les eaux de leurs crues ne peuvent atteindre, et bordés de plaines basses submersibles.

Les autres affluents des Alpes qui ne traversent pas de lacs et tous ceux des Apennins, ont un autre caractère.

Au point où chacun de ces affluents torrentiels sort de la montagne, il s'est fait sur la haute plaine un dépôt considérable de déjections très-anciennes, dans lequel le torrent s'est creusé son lit. Près de la montagne, ce lit est assez encaissé pour que les eaux des crues ne puissent déborder. Mais bientôt sa profondeur diminue, et finit, sur presque tous les torrents, par devenir trop faible pour contenir les crues.

Souvent, entre deux torrents consécutifs et surtout du côté des Apennins, il existe une dépression très-marquée

de la haute plaine dont le sol est quelquefois à plusieurs mètres au-dessous du fond des torrents voisins.

Les affluents du Pô qui descendent des Alpes et traversent des lacs ont des tributaires torrentiels, tels que le Serio, affluent de l'Adda, et le Mella, affluent de l'Oglio. Ces torrents se comportent comme ceux qui se jettent directement dans le Pô, et sont comme eux presque à fleur de la haute plaine sur une partie de leur cours. Cependant ils s'encaissent plus profondément à leur extrémité inférieure, et de plus en plus à mesure qu'ils s'approchent de leur embouchure.

La carte ci-jointe (Pl. 187) fait connaître les limites des plaines submersibles et l'étendue des terrains que couvriraient les inondations du Pô, si les digues n'existaient pas.

Je n'ai pu me procurer les renseignements analogues pour les affluents qui traversent les lacs.

Dans la Pl. 188 sont réunis plusieurs profils en long et en travers des plaines du Pô pris à peu près suivant les directions des chemins de fer construits ou projetés.

Ces profils mettent en évidence les faits ci dessus indiqués, à savoir : la régularité des plaines du Pô, l'absence de toute saillie, de tout contre-fort, dans la haute plaine, la faiblesse des pentes transversales, l'encaissement des affluents qui traversent des lacs, et la dépression du sol de la haute plaine au-dessous du fond de certains torrents des Apennins.

Telle est dans ses caractères principaux la constitution des grandes plaines du bassin du Pô. La régularité de ces plaines et la douceur de leurs pentes y rendent très-facile le tracé des ouvrages de toute nature, routes, chemins de fer, canaux de navigation, rigoles d'irrigation et d'écoulement. La considération du relief du terrain disparaît ici presque tout entière et laisse prédominer celle d'appropriation des ouvrages aux services qu'ils doivent rendre et aux convenances particulières.

La forme de ces plaines a exercé la plus grande influence non-seulement sur l'agriculture de cette partie de l'Italie en facilitant les irrigations autant que possible, mais encore sur les ouvrages auxquels on a dû recourir contre les inondations et dont je vais maintenant parler.

CHAPITRE II.

DES DIGUES CONSTRUITES DANS LE BASSIN DU PÔ.

On a construit dans la vallée du Pô des digues ayant diverses destinations.

Il en existe sur les rives du fleuve, sur celles de ses affluents et dans l'intérieur des plaines protégées.

Je vais les décrire snccessivement.

Des digues du lit du Pô. — Comme on l'a vu précédemment, les plaines submersibles du Pô, très-peu importantes en amont du Tanaro, augmentent progressivement de largeur en descendant. Cependant jusqu'à Crémone, où la plaine submersible a environ 15 kilomètres de largeur, on n'a défendu qu'une partie de la plaine inondable. Les digues se rattachent à la haute plaine par leurs deux extrémités, et entre deux digues consécutives il reste souvent des surfaces assez importantes qui ne sont pas défendues.

La carte (Pl. 187) indique la position et le tracé de ces digues isolées, à l'exception de quelques-unes qui existent sur la rive droite, entre Valence et le torrent Bardonnezza, et dont je n'ai pas pu me procurer le tracé.

En aval de Crémone, la plaine submersible prend des dimensions considérables (voir la carte Pl. 187).

Dans ces vastes plaines on a ménagé au fleuve un lit complétement endigué. Les digues sont continues sur les deux rives jusqu'à la mer. Elles ne présentent d'interruption qu'à l'embouchure des affluents. Mais ces affluents sont eux-mêmes bordés, dans leur partie inférieure, de digues qui se raccordent avec celles du fleuve.

Sur la rive gauche, l'origine des digues continues est située un peu en aval de Crémone; et sur la rive droite on peut, d'après la disposition et l'importance des terrains protégés, la placer au torrent Chiavenna, un peu en aval de Plaisance.

Les grandes digues continues qui accompagnent ainsi le fleuve depuis Crémone s'appellent *digues maîtresses.* En quelques lieux, on leur donne le nom de *digues de frontière.* J'adopterai la première de ces deux dénominations dans ce qui va suivre.

Les digues maîtresses tantôt touchent le fleuve et tantôt s'en éloignent de distances très-variables, s'étendant parfois jusqu'à 5 kilomètres.

La carte (Pl. 187), quoique à une petite échelle, montre assez exactement les dispositions générales des deux digues maîtresses.

Le lit majeur créé par ces digues a sa plus grande largeur en amont vers Crémone, et cette largeur va sans cesse en diminuant jusqu'à l'embouchure du Panaro. De ce point jusqu'à la mer, les deux digues sont presque partout en contact avec le fleuve.

La largeur du lit majeur entre les digues maîtresses est, en nombres ronds, savoir :

	m.
En aval de Crémone, vers l'origine de la digue gauche.	6 700
Vers Santa-Margarita	6 000
Vers Isola Pescaroli.	3 800
A l'embouchure du Taro	3 400
Vers Gussola	5 000
Vers Casal Maggiore.	2 500
Vers Guastalla.	2 000
Entre Guastalla et l'embouchure de l'Oglio moyennement.	3 000
A l'embouchure de l'Oglio	2 000
Vers Borgoforte.	1 000
A l'embouchure du Mincio.	800
Entre Ostiglia et Massa, moyennement.	1 200
De l'embouchure du Panaro à la mer . . . . . . de 300 à	500

Les digues maîtresses ont de 6 à 8 mètres de largeur en

couronne. Leurs talus varient de 1 1/2 à 2 de base sur 1 de hauteur. On donne actuellement 2 de base sur 1 de hauteur aux talus de toutes celles que l'on reconstruit ou que l'on répare.

Le talus du côté des terres est ordinairement renforcé par une banquette de 4 mètres à 6 mètres de largeur placée à 3 mètres au-dessous du couronnement.

Les talus sont simplement gazonnés quand les digues se trouvent à une assez grande distance du fleuve. Lorsqu'elles s'en rapprochent et que les talus peuvent être attaqués par les eaux, on y plante des branches de saules qui forment une végétation touffue. On peut voir aux pages 148 et 149 de la notice de M. Baumgarten, insérée aux *Annales des ponts et chaussées*, et que j'ai citée dans la note de l'avant-propos de ce mémoire, la description de ces revêtements, ainsi que celle des procédés que l'on emploie pour défendre les digues quand elles sont tracées sur le bord même du fleuve.

Il ne paraît pas que l'on ait fait nulle part des revêtements en perrés. La rareté de la pierre dans les grandes plaines du Pô rend sans doute impossible l'emploi de ce moyen de défense.

La hauteur des digues est variable suivant les lieux comme celle des crues qu'elles doivent contenir.

En chaque lieu elle n'a pas toujours été ce qu'elle est aujourd'hui. Les digues ont été exhaussées à plusieurs reprises. Pour n'en citer qu'un exemple, celles du Mantouan ont reçu, après la crue de 1801, un exhaussement qui les a mises à $0^m,24$ au-dessus de cette crue; plus tard on les a élevées à $0^m,75$ au-dessus de la crue de 1807; enfin on les a portées à $0^m,80$ au-dessus de la crue de 1812. Ces renseignements sont donnés par M. Baumgarten dans sa notice précitée.

Le tableau A joint à cette note, page 304, montre que les grandes crues qui avaient déjà augmenté de hauteur à partir

de S. Benedetto et d'Ostiglia, de 1801 à 1812, ont pris encore plus d'élévation après 1812. Cependant les eaux n'ont pas dépassé la hauteur des digues exhaussées, et les ruptures ont été rares depuis cette époque. J'ai réuni dans le tableau B, pages 302 et 303, les renseignements que j'ai pu recueillir sur les ruptures de digues, et l'on y voit que depuis 1812 les digues maîtresses continues n'ont été rompues qu'en 1839 et en 1857, et en deux points seulement; encore les brèches de 1857 paraissent-elles avoir eu peu d'importance.

Le tableau B montre en outre que la hauteur des grandes crues a toujours été en augmentant du commencement du XVIIIe siècle jusqu'à 1839, et que pendant le même temps les ruptures de digues, très-nombreuses en 1705, ont toujours été en diminuant.

C'est au perfectionnement des digues, comme le fait très-bien remarquer M. Lombardini, que l'on doit attribuer la surélévation des crues. Sans vouloir pénétrer ici dans les détails de cette question, on admettra sans doute que les eaux doivent prendre plus de hauteur dans le lit endigué quand elles y sont entièrement contenues, que quand une partie du volume total de la crue peut s'échapper par des brèches et couvrir les immenses plaines que les digues séparent du lit des fleuves.

Tant qu'a duré le perfectionnement des digues, il y a donc eu surélévation progressive des crues. Cette surélévation devenait plus grande à mesure que le nombre des brèches diminuait ; et les digues ont dû être plusieurs fois exhaussées. Mais enfin on est arrivé au régime ou à très-peu près ; il n'y a plus ou presque plus de ruptures; et les digues sont assez hautes pour contenir les crues surélevées autant que le comporte la concentration de toutes les eaux des crues dans le lit endigué.

Toutefois, les digues maîtresses continues sont les seules qui soient maintenant à peu près à l'abri des ruptures, Les digues isolées, en amont de Crémone, sont encore sur-

montées par les eaux ; et les grandes crues les rompent presque toutes. L'inondation se fait alors dans toute la largeur de la plaine submersible. Si l'on exhaussait et perfectionnait les digues en question de manière à les rendre complétement insubmersibles, les conditions d'écoulement des crues seraient changées ; les quantités d'eau emmagasinées dans le lit du fleuve en amont de Crémone seraient moins grandes qu'aujourd'hui, et le débit maximum en serait augmenté dans la partie du lit comprise entre les digues continues. Mais il est probable, vu le peu d'étendue des plaines protégées en amont de Crémone, que l'augmentation du débit maximum n'aurait pas beaucoup d'importance, et qu'il suffirait d'un faible exhaussement pour mettre les digues maîtresses en harmonie avec les nouveaux besoins.

Les hauteurs actuelles des digues maîtresses sont donc suffisantes dans l'état où est le lit du fleuve, et pourront sans doute toujours, quoi qu'il arrive, être facilement augmentées de la quantité nécessaire.

Ces hauteurs se maintiennent, à peu d'exceptions près entre 8 et 9 mètres au-dessus du plus bas étiage (celui de 1817). Elles n'ont rien d'exagéré ; et c'est sans doute à la grande capacité du lit endigué que l'on doit d'être arrivé à un pareil résultat dans un fleuve dont la plupart des affluents sont torrentiels.

La largeur du lit endigué, comme je l'ai dit précédemment, n'est pas uniforme. Elle est plus grande dans la région moyenne du fleuve où les affluents sont le plus nombreux. On a ainsi créé, dans le lit même du fleuve, et au point où les eaux arrivent en plus grande abondance, un bassin d'une grande capacité qui doit exercer sur les crues une action régulatrice très-importante. Par ce moyen, les crues du Pô sont tellement modérées, que le débit maximum peut s'écouler par un lit qui finit par n'avoir que 300 mètres de largeur, dans sa partie inférieure.

Mais ces considérations m'entraîneraient loin de mon sujet. Je reviens à la description des digues maîtresses.

Toutes les parties que j'en ai visitées m'ont paru construites en terre de bonne qualité.

Leur entretien est l'objet de soins attentifs. Toutes les mesures conservatrices sont rigoureusement observées. Je n'ai pas vu, sur la longueur de celles que j'ai parcourues, un seul arbre planté sur les talus. Dans les villes et les villages qu'elles traversent, les maisons sont le plus souvent placées au pied du talus et presque toujours du côté de la campagne. J'ai rarement vu des maisons dont les seuils fussent au niveau du couronnement; et c'était toujours dans des points où la digue avait une plus grande largeur.

Le service de surveillance des digues en temps de crue a une organisation spéciale. M. Lombardini m'avait signalé les dispositions prises à ce sujet sur la digue maîtresse du Mantouan, et qui paraissent ne rien laisser à désirer. Il m'avait engagé à visiter la partie de cette digue qui est auprès de Viadana. J'ai vivement regretté d'en avoir été empêché par les nécessités de mon itinéraire et la courte durée du temps dont je pouvais disposer. Mais j'ai vu dans le Crémonais le commencement des mesures prises pour assurer cette partie du service. Des cales spacieuses, à talus aussi doux que ceux de la digue et parfaitement gazonnés, sont établies sur toute la longueur de la digue, à partir de Solarolo. Ces cales sont très-rapprochées les unes des autres, à moins de 200 mètres. Elles sont destinées à recevoir les abris des gardiens des digues en temps de crue, ainsi que le dépôt des outils et matières dont on peut alors avoir besoin.

Je n'ai pas visité les digues isolées situées en amont de Crémone. Celles de la rive droite comprise entre les torrents Bardonnezza et Tidone ont été améliorées depuis 1846, et n'ont point été rompues dans la grande crue de

1857. Mais toutes les autres l'ont été, et paraissent loin d'être dans un état aussi satisfaisant que les digues maîtresses continues dont je viens de parler.

Toutes ces digues isolées sont à la charge des communes ou des associations syndicales qui les ont construites. Et c'est sans doute la cause de l'état d'infériorité où elles se trouvent.

Elles défendent des territoires d'une médiocre étendue. Leurs ressources doivent par suite être assez faibles. Tandis que les digues maîtresses continues, situées en aval de Crémone protégent des surfaces si considérables que de quelque manière que leur entretien soit réglé, qu'il soit à la charge des Etats, ou que des associations syndicales y participent, on doit pouvoir y affecter des sommes importantes.

Outre les digues maîtresses continues, on a construit dans la plaine submersible du Pô, d'autres digues dont je vais maintenant parler.

Comme on l'a vu précédemment, les digues maîtresses continues laissent entre elles et le fleuve des terrains très-étendus et qui ont parfois jusqu'à 5 kilomètres de largeur. Ces terrains s'appellent *golènes*.

Les golènes sont couvertes d'eau dans les grandes crues. Mais on les a mises pour la plupart à l'abri des crues moyennes en les entourant de digues beaucoup plus petites que les digues maîtresses et que l'on nomme digues de golènes (*).

Ces petites digues ont des hauteurs et des dimensions

(*) M Baumgarten a donné dans la notice précitée, qui est insérée aux *Annales des ponts et chaussées*, un dessin intitulé : Profil d'une digue en golène. Ce profil est celui d'une digue maîtresse séparée du fleuve par des golènes. Il n'a rien de commun avec les digues de golènes dont je parle en ce moment. J'ai cru devoir le faire remarquer pour éviter toute fausse interprétation.

très-variables. Quelquefois ce sont de simples bourrelets n'ayant guère plus d'un mètre de hauteur, et dont le couronnement n'a que 1 mètre à 1^{m}.50 de largeur. D'autres fois, leur hauteur s'élève à plusieurs mètres, et leur largeur en couronne est de 2 mètres à 3 mètres. Dans tous les cas, leur couronnement doit être à 1^{m}.50 au moins au-dessous de celui de la digue maîtresse la plus rapprochée. C'est une condition imposée dans la construction de ces ouvrages. Toutefois, au point d'attache avec la digue maîtresse, la digue de golène se relève et une rampe raccorde les couronnements des deux digues. Cette disposition a l'avantage de diminuer les chances de dégradation de la digue maîtresse, en éloignant d'elle les brèches qui, en temps de crue, peuvent se faire dans la digue de golène.

Les digues de golènes sont construites par les particuliers et ne paraissent être astreintes à aucune autrec ondition que celle du maximum de hauteur dont je viens de parler. Leur nombre s'est étendu au delà de ce que l'on pourrait imaginer ; cela tient sans doute au peu d'importance de ces ouvrages et à la faible dépense qu'ils occasionnent. Les rivalités de propriétaires, les refus de laisser attacher une digue nouvelle à une digue ancienne, ont dû contribuer à les multiplier. On jugera du degré de développement qu'ont pris les digues de cette espèce, par le tracé que je donne (Pl. 189, *fig.* 3) de celles qui sont construites dans le Crémonais entre l'origine de la digue maîtresse de la rive gauche et S. Daniele.

Mais quel que soit le nombre de ces digues, leur présence n'empêche nullement les grandes eaux du fleuve de s'épancher dans tout l'intervalle compris entre les digues maîtresses des deux rives; et l'emmagasinement d'eau, ainsi que l'atténuation du débit maximum du fleuve qui en résulte, sont aussi complets que si les digues de golène n'existaient pas.

Avant de quitter ce sujet, je dirai quelques mots de l'aspect et de la culture des golènes.

En quelques points assez rares, la golène est à peu près au niveau de la plaine protégée ; mais généralement elle est plus élevée, et souvent de beaucoup.

Quand la golène est basse, elle est rarement cultivée. On y fait des plantations d'arbres et d'oseraies. Le sol est coupé de nombreux fossés.

A mesure que le sol s'élève, la culture commence à paraître, et les golènes les plus élevées sont cultivées avec autant de soin que les plaines protégées.

La terre des golènes est noire, et celle des plaines protégées, d'une teinte claire. Ce contraste de couleurs est très-marqué et s'observe constamment.

Des digues des affluents du Pô. — Les affluents du Pô sont de deux natures, comme je l'ai déjà dit. Les uns traversent des lacs avant d'arriver dans la haute plaine du Pô, et les autres n'en traversent pas.

Les premiers coulent à travers la haute plaine dans des lits encaissés de hauteurs variables qui ne sont pas inférieures à 15 mètres pour le Tessin, 10 mètres pour l'Adda et 5 mètres pour l'Oglio.

Le Tessin n'a de digues de quelque importance que vers sa jonction avec le Pô. Sur presque tout le reste de son cours, jusqu'au lac Majeur, sa plaine submersible est couverte de forêts.

La plaine submersible de l'Adda n'est pas très-étendue. On y a construit un assez grand nombre de digues se rattachant par leurs deux extrémités à la haute plaine et ayant rarement plus de 3 kilomètres de longueur. La carte (Pl. 187) indique la manière dont les digues du Pô se raccordent avec celles de l'Adda vers l'embouchure de cette rivière. La digue droite de l'Adda, qui fait suite à la digue gauche du Pô, se rattache à la haute plaine vers Lardera.

L'Oglio est garni de digues continues dans la partie inférieure de son cours, depuis Santa Maria de Calvatone dans la rive droite, et Saint-Michel sur la rive gauche. Ces digues se raccordent avec celles du Pô. Au-dessus de Santa Maria et de Saint-Michel, il n'y a plus que des digues isolées de faible longueur.

Les digues du Mincio sont continues depuis Virgiliana sur la rive droite, et Pormigoro sur la rive gauche. Elles se raccordent, comme celles de l'Oglio, avec les digues du Pô. Au-dessus de Mantoue il n'y a plus de digues.

Je n'ai pu me procurer le tracé exact des digues isolées construites le long du Tessin, de l'Adda et de l'Oglio, non plus que celui des lignes qui séparent, le long de ces rivières, les plaines submersibles de la haute plaine. Ces documents font défaut sur la carte que je joins à cet écrit.

Les digues isolées de ces rivières, comme celles de la partie supérieure du Pô, ferment, entre les caps de la haute plaine, les terrains submersibles assez étendus pour justifier cette mesure. Elles n'ont d'ailleurs pour but que la défense des plaines submersibles des affluents, et n'intéressent en rien la haute plaine que les eaux de ces affluents encaissés ne peuvent jamais atteindre, même dans les plus fortes crues.

Le régime de la haute plaine est au contraire fortement intéressé aux digues des affluents torrentiels qui ne traversent pas de lacs.

Au sortir des montagnes, comme je l'ai déjà dit, les lits de ces torrents ont assez de profondeur pour contenir les grandes eaux; mais ils deviennent bientôt insuffisants, et laisseraient les eaux des crues s'épancher sur la haute plaine s'ils n'étaient pas bordés de digues. L'inondation de la haute plaine se ferait alors sur des espaces immenses, nul relief de terrain ne pouvant la limiter, et les dépressions qui existent entre plusieurs torrents devant même faciliter l'expansion des eaux.

Il est donc devenu nécessaire de maintenir les affluents en question entre deux digues continues, non-seulement dans leur passage à travers la plaine submersible, mais encore sur une certaine partie de leur longueur, dans la haute plaine, jusqu'au point où le lit naturel du torrent devient assez profond.

La carte (Pl. 187) montre les dispositions des digues de tous les affluents torrentiels qui descendent des Apennins.

Des digues analogues existent sur les torrents qui descendent des Alpes. Je n'ai pu me procurer leur tracé; mais elles ont en général moins de longueur que du côté des Apennins, parce qu'elles deviennent inutiles à l'approche de la plaine submersible du Pô; les lits des torrents prenant alors une profondeur suffisante.

Les digues des torrents donnent aux lits des grandes eaux des largeurs considérables. Je ne puis présenter le tableau de toutes ces largeurs; mais quelques-unes d'entre elles, recueillies aux points où les chemins de fer coupent les torrents, suffiront pour faire juger de leur importance. Je les réunis dans le tableau suivant, et j'y ajoute la superficie du bassin des affluents donnée par M. Lombardini, afin que l'on puisse comparer la largeur des torrents d'Italie avec celle des rivières de même étendue dans les autres pays.

INDICATION du torrent.	LARGEUR entre les digues.	SUPERFICIE du bassin du torrent en kilomètres carrés.	OBSERVATIONS.
Rive gauche du Pô.	mèt.	kil. qu.	(a) Les bassins des trois torrents Chiavenna, Arda et Ongina ont ensemble 875 k. q. de superficie.
Sesia.	500	2.920	
Rive droite du Pô.			
Trebbia.	600	628	(b) Les deux bassins de la Parma et de l'Enza sont réunis dans le tableau des superficies donné par M. Lombardini.
Arda.	220 (a)		
Taro.	843	2.083	
Parma.	530	(b) 1.726	
Enza.	840		
Panaro.	390	2.292	

Les lits endigués des torrents ont donc de grandes largeurs, et il résulte de cette sage mesure que les crues y prennent peu de hauteur. Par suite, les digues sont moins élevées et moins exposées. Je n'ai pas d'indications précises sur les dimensions de ces digues; mais partout où je les ai vues, elles m'ont paru avoir au plus 2 mètres de hauteur et souvent moins.

En quelques points des torrents, j'ai vu deux digues sur la même rive. La seconde ligne est-elle un supplément de garantie pour le cas où la première ligne serait rompue? ou bien a-t-elle pour but de prévenir un danger venant d'un autre côté? C'est ce qu'il ne m'a pas été possible d'examiner dans cette rapide excursion. La vallée du Pô renferme une si grande quantité de choses intéressantes, sous le rapport des eaux, qu'il n'était pas possible de tout embrasser dans une première et courte visite.

Des digues construites dans l'intérieur des plaines submersibles protégées. — Les plaines protégées par les digues maîtresses du Pô ont une très-grande importance, même dans la partie moyenne du fleuve.

Dans la partie inférieure, c'est le pays tout entier qui deviendrait submersible si les digues maîtresses n'existaient pas.

Cette circonstance donne aux digues du tronc inférieur du Pô beaucoup d'analogie avec celles de la Hollande. Les unes et les autres protégent une grande étendue de pays plats; celles de la Hollande, il est vrai, à chaque instant, ou chaque jour pendant la marée, et celles du Pô à toute crue seulement; mais c'est bien assez pour établir la similitude.

Dans des plaines submersibles constituées comme celles du Pô, tout cours d'eau qui peut déborder et verser en temps de crue des eaux que l'on n'aurait plus alors les moyens d'évacuer, devient un ennemi dont il faut se garder. Aussi

a-t-on pris les plus grandes et les plus judicieuses précautions contre ce danger.

Dans la partie moyenne du cours du Pô, on détourne les eaux de source et de pluie qui coulent à la surface de la haute plaine, et on les verse dans les affluents, de manière qu'elles ne puissent pas venir inonder la basse plaine, tant que les crues du Pô ferment les issues qui leur sont ordinairement ouvertes.

Je ne décrirai pas tous les moyens employés pour assurer l'écoulement des eaux des plaines pendant les crues du Pô. Cela m'éloignerait de mon sujet, et d'ailleurs les détails s'en trouvent dans les ouvrages des ingénieurs italiens et français qui se sont occupés des rivières de l'Italie. Je citerai seulement comme exemple les dispositions adoptées dans ce but sur la rive gauche du Pô, entre l'Adda et l'Oglio. Elles montreront le soin avec lequel ont été réglés les détails du régime hydraulique de la vallée du Pô.

Les eaux de la haute plaine comprises entre l'Adda et l'Oglio seraient arrivées en très-grande partie dans la plaine submersible protégée par les digues du Crémonais; et malgré l'étendue de cette plaine, elles auraient pu y occasionner de grands dommages. Pour éviter cet inconvénient, on a construit, vers l'an 1300, près du bord de la haute plaine, le canal Delmona qui recueille toutes les eaux supérieures et les conduit dans l'Oglio près de Calvatone (*). Plus tard, vers 1550, on a sans doute reconnu que cette précaution pouvait devenir insuffisante en certains cas, et l'on a construit un nouveau canal de dérivation des eaux supé-

(*) M. Baumgarten dit (page 156 de sa notice précitée) que le canal Delmona a été creusé pour détourner, dans l'Oglio les eaux qui sont derrière la maîtresse digue de Crémone. On pourrait penser, d'après cette rédaction, qu'il s'agit des eaux qui coulent dans la plaine submersible protégée par la digue de Crémone; tandis que c'est pour empêcher les eaux de la haute plaine d'arriver dans la plaine submersible que le canal Delmona a été construit.

rieures. Ce canal a son point le plus élevé à Villanuova; de là les eaux se partagent et se dirigent d'un côté vers Crémone, où elles se jettent dans le Pô, en amont du point d'attache de la digue maîtresse, et de l'autre vers Gremona, où elles se jettent dans l'Oglio (voir la carte Pl. 187).

Dans la partie inférieure du bassin du Pô, les cours d'eau, les canaux, les rigoles de toute espèce qui sillonnent la plaine submersible sont très-nombreux. Toutes ces eaux sont contenues entre des digues de hauteur suffisante. Presque toutes ces digues peuvent limiter le champ des inondations en cas de rupture des digues du Pô ou des affluents.

En outre, on en a construit en certains points qui ont spécialement ce dernier but.

Le tracé de ces digues intérieures de garantie des plaines protégées aurait présenté de l'intérêt, et j'aurais désiré pouvoir l'indiquer sur la carte. Mais je n'ai pas eu le temps de me procurer les renseignements nécessaires pour cela.

Parmi les digues que l'on rencontre dans l'intérieur des plaines protégées, il en est qui proviennent des nécessités d'un ancien état de choses que les changements causés soit par la nature, soit par la main des hommes, ont fait disparaître.

Ces changements ont été très-fréquents dans la partie inférieure du cours du Pô, et ils continuent encore de nos jours. Ils tiennent d'abord aux modifications que le fleuve et ses affluents ont apportées dans le relief du sol par leurs déjections; ensuite, à la facilité extrême avec laquelle on déplace les cours d'eau dans cette vaste plaine submersible où aucune pente, aucun accident de terrain ne vient gêner ces opérations.

Il n'entre pas dans mon but de décrire les nombreuses transformations qu'ont ainsi subies les cours d'eau de la plaine du Pô. Les détails s'en trouvent d'ailleurs dans les auteurs qui ont traité de ces matières. Mais je citerai quel-

ques faits pour montrer l'importance et la facilité de ces changements.

Dans les temps anciens et jusqu'au XII[e] siècle le Pô arrivait en une seule branche jusqu'à Ferrare, et là se divisait en deux bras, le Pô de Volano et le Pô de Primaro. Par suite de ruptures survenues et de travaux exécutés dans les trois siècles suivants, le Pô fut définitivement fixé au XV[e] siècle dans le lit qu'il occupe actuellement et qui passe à Ponte Lagoscuro. L'ancien lit du Pô, de l'embouchure du Panaro à Ferrare, et le Pô de Volano, ne servent plus que de rigole d'écoulement.

Le Reno, qui passe à Bologne, se jetait jadis dans le Pô, quand ce fleuve coulait devant Ferrare. Le lit du Reno suivait alors la direction tracée par Mirabello, Vigarano-Mainarda et Porotto. Depuis le déplacement du Pô, et après diverses transformations dont j'aurai l'occasion de parler dans la suite de cette notice, on a créé au Reno un lit qui conduit directement ses eaux à la mer, en empruntant l'ancien bras du Pô dont je parlais plus haut et que l'on nomme le Pô de Primaro.

La Savena, ancien affluent du Reno, a été détournée près de Bologne, et jetée dans l'Idice. Son ancien lit abandonné sur environ 35 kilomètres de longueur sert maintenant à l'écoulement d'une partie des eaux de Bologne.

L'Idice lui-même qui versait autrefois ses eaux dans le Pô de Primaro a été détourné en 1816 et conduit dans des terrains bas et marécageux situés près de Durazzo.

Il en a été de même du torrent Quaderna, voisin de l'Idice.

Il n'est pas étonnant que ces nombreuses transformations aient laissé sans utilité certains ouvrages de défense. On n'a pas détruit ces ouvrages. Leur bon état fait même penser que l'on s'occupe de leur entretien, et ils viennent s'ajouter aux précautions que l'on prend à l'intérieur des

plaines submersibles pour limiter l'étendue de l'inondation en cas d'accident.

Observations générales sur les endiguements de la vallée du Pô. — J'ai déjà présenté dans le cours de ce chapitre quelques observations sur les effets et les résultats des endiguements du Pô. Je vais les résumer et les compléter.

Un endiguement exhausse toujours le niveau des crues, d'abord parce qu'il rétrécit la section d'écoulement, ensuite parce qu'il augmente le débit maximum, en diminuant les capacités dans lesquelles les eaux peuvent s'emmagasiner sur les bords du fleuve.

Plus on diminue ces capacités, et plus le débit maximum augmente, ainsi que la hauteur des crues.

Quand il est possible de laisser aux capacités dont nous parlons, une importance assez grande pour que la hauteur des crues reste dans des limites raisonnables, le problème de l'endiguement est susceptible d'une bonne solution pratique, et si, conçu de cette manière, l'endiguement protége encore des terrains très-étendus, il est alors parfaitement motivé.

C'est ce qui est arrivé dans la vallée du Pô.

Si l'on n'avait endigué ni le fleuve, ni ses affluents torrentiels, les crues auraient eu moins de hauteur, mais plus de durée que dans l'état actuel; et les terrains de la haute comme de la basse plaine, que les eaux des torrents ou du fleuve auraient fréquemment couverts sur de si grandes surfaces, pendant un temps si long, n'auraient pu acquérir la valeur et la fécondité qu'ils ont aujourd'hui. Dans ces conditions l'endiguement devenait une mesure de première nécessité. C'était pour ces terrains une question d'être ou de ne pas être.

Mais en construisant les digues on a donné aux lits des grandes eaux, soit des torrents, soit du fleuve lui-même, des largeurs telles que les hauteurs des crues ont été maintenues dans des limites modérées. Toutes les digues impor-

tantes sont maintenant à très-peu près en état de contenir les plus grandes crues qui se produisent. Il n'y a d'imparfait dans les endiguements du Pô que les digues isolées construites en amont de Crémone, et comme ces digues ne protégent que des terrains de peu d'étendue, on pourrait sans doute les perfectionner sans entraîner des conséquences trop graves pour les digues d'aval.

Concluons donc que la vallée du Pô appelait les endiguements par la disposition et l'étendue des terrains exposés à la submersion ; mais que c'est en plaçant les digues des deux rives à de grandes distances l'une de l'autre, et laissant ainsi des largeurs considérables aux lits majeurs du fleuve et de ses affluents, que l'on a pu rendre les endiguements aussi efficaces qu'ils le sont. On a sagement agi en adoptant ces excellentes dispositions.

CHAPITRE III.

DE L'EXHAUSSEMENT DU LIT DU PÔ ET DES AUTRES FLEUVES D'ITALIE QUI VERSENT LEURS EAUX DANS LA MER ADRIATIQUE.

On croit généralement en France que le fond des fleuves du nord de l'Italie s'exhausse sans cesse entre les digues et se trouve maintenant plus élevé que les campagnes voisines.

Cette opinion était très-accréditée, et personne ne paraissait douter de l'exactitude du fait, quand des documents donnés par M. Lombardini et reproduits par M. Baumgarten dans l'article des *Annales des ponts et chaussées* dont j'ai déjà eu l'occasion de parler, sont venus démontrer que le prétendu exhaussement n'existe pas.

Rien de plus concluant que les faits cités par M. Lombardini.

Sur la rive gauche du Pô, les campagnes voisines sont élevées au-dessus de l'étiage de $3^m.50$ à $4^m.50$ entre Crémone et Casal Maggiore; de $4^m.50$ à 5 mètres, de Casal

Maggiore à l'embouchure de l'Oglio ; de 4 mètres à 5 mètres, de l'embouchure de l'Oglio à celle du Mincio; de 4 mètres à 6 mètres, de l'embouchure du Mincio à la Fossa d'Ostiglia. Ici commence la dépression prononcée du territoire compris entre l'Adige et le Pô. Au point où la Fossa d'Ostiglia se divise en deux branches, à la Torre Rotta, les terrains sont de $3^m.10$ à $4^m.70$ au-dessus de l'étiage; au bastion Saint-Michel, où la Fossetta débouche dans le Tartaro, les terrains environnants qui sont les plus bas de cette rive (les vallées marécageuses de Vérone) se trouvent encore de $1^m.50$ à 2 mètres au-dessus de l'étiage; un peu plus loin, au point où le canal de la Polasella se détache du canal Bianco, les campagnes se trouvent de $2^m.50$ à 4 mètres plus élevées que l'étiage du Pô.

Sur la rive droite du fleuve, et jusqu'à l'embouchure du Panaro, le territoire s'élève de $3^m.50$ à $5^m.50$ au-dessus de l'étiage, à l'exception des anciens marais, maintenant cultivés, qu'on appelait Bondeno, et qui sont cependant encore de $1^m.50$ à $3^m.50$ plus élevés que l'étiage du Pô.

Comme le fond du fleuve est au moins de $1^m,50$ à 2 mètres au-dessous de l'étiage, il est très-loin, comme on le voit, d'être au-dessus des campagnes environnantes.

En donnant les renseignements ci-dessus à M. Baumgarten, M. Lombardini annonçait l'envoi ultérieur d'un nivellement fait entre le Pô et Ferrare. En outre, il ajoutait que l'Adige a réellement rehaussé en quelques points son lit au-dessus des campagnes voisines, mais qu'il n'avait sur ce fait aucune donnée positive.

Ces communications d'un ingénieur aussi éminent que M. Lombardini, et qui a fait une étude si approfondie du régime des fleuves d'Italie, ont ému les ingénieurs français.

M. Minard écrivit en 1851 à M. Baumgarten pour lui demander si M. Lombardini avait donné la suite de renseignements qu'il avait annoncée.

Ainsi mis en demeure de s'expliquer, M. Lombardini a publié en 1852 un écrit où il a traité complétement la question des changements que subissent les conditions hydrauliques du Pô sur le territoire de Ferrare.

Cet écrit, où abondent les faits et les aperçus les plus judicieux sur le régime des fleuves à lit mobile, résout complétement la question. J'y puiserai les principaux arguments de la discussion qui va suivre.

Avant d'entrer dans l'examen de la question d'exhaussement, il est bon de savoir comment elle s'est introduite, sur quelles bases s'est fondée l'opinion que le lit des fleuves d'Italie s'élève sans cesse.

Cuvier a dit, dans son discours sur les révolutions de la surface du globe : « Chacun peut apprendre en Hollande et » en Italie avec quelle rapidité le Rhin, le Pô, l'Arno, au» jourd'hui qu'ils sont ceints par des digues, élèvent leur » fond. » Il cite des renseignements qui lui ont été communiqués par Prony, et desquels il résulterait que « le Pô, » depuis l'époque où on l'a enfermé de digues, a tellement » élevé son fond, que *la surface de ses eaux est maintenant plus » haute que les toits des maisons de Ferrare.* En même temps, » ses atterrissements ont avancé dans la mer avec tant de » rapidité, qu'en comparant d'anciennes cartes avec l'état » actuel, on voit que le rivage a gagné plus de 6 000 toises » depuis 1604; ce qui fait 150 ou 180 pieds, et en quelques » endroits 200 pieds par an. *L'Adige et le Pô sont aujour» d'hui plus élevés que tout le terrain qui leur est intermédiaire,* » et ce n'est qu'en leur ouvrant de nouveaux lits dans les par» ties basses qu'ils ont déposées autrefois, que l'on pourra » prévenir les désastres dont il les menacent aujourd'hui. »

Il est à remarquer que Prony n'a parlé que de la partie du Pô qui avoisine Ferrare, et des terrains compris entre le Pô et l'Adige. Il n'a évidemment eu en vue que le tronc inférieur du Pô qui traverse l'immense plaine submersible du littoral de l'Adriatique.

En s'appuyant sur les assertions de Prony pour dire que le Pô élève son fond dans toutes les parties où il est endigué, on étend donc l'observation de ce savant à des localités dont il n'a pas parlé; on lui fait dire, ce me semble, plus qu'il n'a dit.

Les ingénieurs italiens, qui se sont beaucoup occupés des altérations du lit du Pô, n'ont pas davantage parlé de la partie supérieure du cours de ce fleuve. Leurs observations, dont on trouve une analyse dans la notice précitée de M. Baumgarten (page 175), se rapportent toutes au tronc inférieur. Ainsi Zendrini parle de hauteurs d'eau constatées à l'écluse de Polesella et au barrage de la Cavanella di Pô; Manfredi cite des faits qui ont eu lieu à l'empellement de Pilostrese, en aval de Stellata; M. Lombardini rapporte une observation faite en 1817 à l'ancien empellement de Quatrelle; et toutes ces localités sont situées en aval d'Ostiglia, point où, d'après les renseignements donnés par M. Lombardini et rappelés ci-dessus, commence la dépression des plaines inférieures.

Il paraît donc évident que la partie du Pô située en amont d'Ostiglia, doit être mise ici hors de cause. C'est par erreur que l'on a, dans l'opinion publique, considéré le régime de cette partie supérieure du fleuve comme ayant attiré l'attention des ingénieurs, et donné lieu à des observations d'où l'on pourrait inférer que le fond du fleuve s'exhausse.

Le Pô, dans cette partie supérieure de son cours, ne se comporte pas autrement que les rivières à lit mobile de tous les autres pays. Le fond du fleuve présente, ainsi que le fait observer M. Lombardini, une ligne ondulée très-variable. L'importance, la nature des dépôts peuvent changer momentanément, suivant certaines circonstances telles que le déboisement des montagnes, le redressement des parties courbes du lit, etc. Mais, dans son ensemble, le lit du fleuve ne subit pas de modification appréciable. Tout

ce que constate M. Lombardini après les recherches les plus consciencieuses, ce serait un léger exhaussement des basses eaux près de Bondeno, dans une période de quatre à cinq siècles, et près de Sermide et d'Ostiglia, pendant les deux derniers siècles. Mais ces exhaussements partiels et peu importants n'ont point de rapport avec l'exhaussement considérable, général, qui, dans l'opinion que j'examine en ce moment, aurait mis le fond du fleuve au-dessus des campagnes environnantes. Le Pô reste parfaitement encaissé, dans ces campagnes, de 3m.50 à 6 mètres de profondeur, ainsi que cela résulte des renseignements donnés par M. Lombardini.

Il est donc certain qu'au-dessus d'Ostiglia, le Pô n'a jamais subi les exhaussements dont on parle. Et je le répète, rien de ce qui a été dit de l'opinion de Prony ne se rapporte à cette partie du cours du Pô.

Mais il n'en est pas ainsi de la partie du Pô qui, en aval d'Ostiglia, traverse les grandes plaines submersibles inférieures jusqu'à la mer. Prony a pensé que le fond de cette partie du fleuve s'exhausse; et c'est à cet exhaussement qu'il attribue le relèvement de la surface supérieure des eaux, qui serait maintenant au niveau des toits des maisons de Ferrare.

Il ne dit pas, c'est une remarque importante à faire, que le fond du Pô soit au-dessus des terrains environnants. C'est de la surface des eaux qu'il parle; et suivant toute apparence, de la surface des grandes eaux. Ainsi, sur ce point encore, l'opinion publique s'emparant de l'observation de Prony, l'a étendue au delà des intentions de son auteur.

En ce qui concerne le fond même du fleuve, il ne reste pas le moindre doute. Sur toute la longueur du tronc inférieur du Pô qui nous occupe en ce moment, le fond du fleuve est au-dessous, non-seulement des Golènes, qui sont toujours plus élevées que les campagnes proté-

gées par les digues, mais de ces campagnes elles-mêmes.

Je dois à l'obligeance de M. Lombardini des renseignements qui établissent clairement la situation des choses. Ce sont les hauteurs des Golènes et des campagnes au-dessus des eaux du 22 septembre 1813, de l'embouchure de Panaro à la mer (voir le tableau C, page 301).

A Ponte Lagoscuro, les eaux du 22 septembre 1813 sont à $0^m.40$ au-dessus des basses eaux ordinaires, et à $1^m.92$ au-dessus des plus basses eaux connues, celles de 1817.

Il n'y a pas un seul point où la campagne ne soit au-dessus des basses eaux ordinaires ; et comme la profondeur de l'eau est très-grande dans cette branche inférieure du Pô, tellement grande que la surface des eaux d'étiage a pu varier de $1^m.52$, différence entre l'étiage ordinaire et celui de 1817, le fond du fleuve se trouve ainsi beaucoup au-dessous des campagnes environnantes,

En ce qui concerne la surface des eaux, celle des crues se trouve naturellement au-dessus de l'immense plaine submersible que traverse le tronc inférieur du Pô.

M. Lombardini a donné dans le mémoire que j'ai précédemment indiqué, un profil qui fait connaître comment les choses se passent, sous ce rapport, au droit de Ferrare (voir la *fig.* 2 de la Pl. 189).

Ce profil levé tout près et en aval de Ferrare, s'étend de l'ancien Pô de Volano à Ponto Lagoscuro.

Sur la moitié de sa longueur, du côté du Pô de Volano, le terrain est plus élevé que sur l'autre moitié, du côté de Ponte Lagoscuro.

En exceptant les parties les plus rapprochées du Pô de Volano, qui paraissent avoir été exhaussées artificiellement, le terrain le plus élevé se trouve, sur 2640 mètres de longueur, à $5^m.70$ en moyenne au-dessus du niveau moyen de la mer.

C'est sur ce terrain que la ville de Ferrare est bâtie.

M. Lombardini le considère comme l'ancienne rive natu-

relle du Pô actuel. La seconde moitié du profil, du côté de Ponte Lagoscuro, qui présente de fortes dépressions, aurait anciennement fait partie du lit actuel du fleuve, et en aurait été retranchée par l'endiguement.

Sur le profil sont tracées les lignes des plus basses eaux et de la grande crue de 1839. Les cotes des basses et des hautes eaux sont plus faibles au Pô de Volano qu'à Ponte Lagoscuro, parce que le profil y aboutit en un point situé à 9 kilomètres plus en aval. La pente par kilomètre étant de 0m.09 en basses eaux et de 0m.11 en hautes eaux, la différence de hauteur entre les deux extrémités du profil doit être de 0m.81 dans le premier cas et de 0m.99 dans le second, comme l'indique le profil.

Il résulte de ces divers documents que la ligne des basses eaux passe en moyenne à 3m.65 au-dessous et la ligne des hautes eaux, à 5,15 au-dessus du terrain le plus rapproché du Pô de Volano et sur lequel la ville de Ferrare est bâtie.

M. Lombardini fait en outre particulièrement connaître que les grandes eaux de 1839 se sont élevées à une hauteur qui dépasse de 2m.75 seulement le pavé de la place de Ferrare, devant la cathédrale.

Il n'y a rien que de très-ordinaire dans ces faits. En tous lieux, dans tous les pays, le sol des plaines submersibles est, comme à Ferrare, au-dessus des basses eaux des fleuves, et au-dessous des hautes eaux.

Mais, dit-on, le Pô présente cette particularité que le niveau des hautes eaux s'est considérablement élevé vis-à-vis Ferrare, et l'on attribue ce relèvement à l'exhaussement du fond même du fleuve.

Il est constant que les grandes crues sont plus hautes actuellement que dans les temps passés, au droit de Ferrare.

Le tableau B joint à ce mémoire, montre que la grande crue de 1705 ne s'est élevée qu'à 6m.82 au-dessus des plus basses eaux à Ponte Lagoscuro, tandis que les grandes

crues actuelles, celles de 1839 et de 1857, se sont élevées à 8m.58.

Il y a deux choses à considérer :

1° La hauteur des grandes crues au-dessus de l'étiage.

2° L'altitude de l'étiage lui-même.

Les documents que je viens de donner se rapportent à la première de ces deux choses. Ils témoignent que de quelque manière que l'étiage se soit comporté, la hauteur des grandes crues a considérablement augmenté à Ponte Lagoscuro.

La cause de cette augmentation de hauteur, absolument indépendante de la nature et des altérations du fond, est parfaitement connue. M. Lombardini l'a signalée en plusieurs endroits de ses écrits. Elle réside dans le perfectionnement des digues du Pô.

Autrefois ces digues qui protégent, comme le montre la carte, de si grandes surfaces de terrain, étaient déprimées et mal entretenues. Les crues étaient toujours accompagnées de ruptures qui détournaient des quantités d'eau considérables du lit du fleuve pour les jeter dans les campagnes voisines.

Le débit maximum et par suite la hauteur des crues se trouvaient atténués dans la partie inférieure du fleuve, par cette déviation d'une partie des eaux.

Mais après la crue de 1705, on a commencé à perfectionner quelques digues et à leur donner une hauteur suffisante. Celles du Crémonais, sur 80 kilomètres de longueur, n'ont plus jamais été rompues depuis cette époque.

Peu à peu les autres digues ont également été mises à l'abri des dégradations. A mesure que ce travail de perfectionnement s'exécutait, les ruptures et leurs effets diminuaient d'importance. Par suite, la hauteur des crues a dû aller constamment en augmentant jusqu'en 1839. Depuis 1840, il ne s'est plus fait de brèches dans les digues continues du Pô depuis Crémone, sur la rive gauche et l'embouchure de l'Enza sur la rive droite ; aussi la hauteur des

grandes crues n'a-t-elle plus augmenté (voir le tableau B).

Il y a donc eu dans la hauteur des grandes crues du Pô, au-dessus de l'étiage, aux environs de Ponte Lagoscuro et de Ferrare, une augmentation progressive, dont les causes parfaitement reconnues, sont tout à fait indépendantes des altérations que le fond même du fleuve a pu subir.

Mais le fond du fleuve et les basses eaux sont-ils constamment restés dans le même état? Ou se sont-ils eux-mêmes relevés?

C'est là que se trouve portée la question controversée.

Il est un fait qui joue un grand rôle dans cette affaire et qui est même, comme le prouvera la suite de cet écrit, la seule cause des modifications que subit le régime du Pô, dans la partie inférieure de son cours. C'est l'allongement continu du Pô, du côté de la mer, par le dépôt des matières que ses eaux entraînent.

Prony avait signalé cette circonstance, comme on l'a vu précédemment; et il avait évalué de 150 à 200 pieds la quantité dont le rivage s'est avancé chaque année dans la mer, depuis 1604.

M. Lombardini a donné sur ce point des documents qui s'accordent assez avec l'appréciation de Prony. Il admet que les atterrissements se sont avancés annuellement de 64 mètres dans la mer, de 1600 à 1800, entre l'embouchure du Pô du levant et celle de Maëstra.

Au milieu de ces atterrissements, le Pô allongeait son lit. Cet allongement, malgré quelques variations résultant des coupures qui peuvent se faire, est en général plus grand que l'avancement de la plage, à cause des sinuosités du fleuve.

M. Lombardini a établi que, depuis 1604, le lit du Pô s'est allongé de 132 mètres par an.

Or, quand un fleuve avance ainsi son embouchure dans la mer, il faut que ses eaux prennent une certaine pente de surface, dans la nouvelle partie inférieure de son lit.

Donc le plan supérieur des eaux se relève au point où se trouvait anciennement l'embouchure, et par suite, les pentes se modifient en amont de ce point, sur une certaine longueur.

En partant de l'ancienne embouchure et remontant le cours du fleuve, l'exhaussement du plan supérieur des eaux va en s'atténuant. La surface des eaux prend, dans son profil en long, une nouvelle courbe qui vient se raccorder tangentiellement avec l'ancienne, en un certain point situé à une distance de l'embouchure qui dépend et de la pente primitive du fleuve, et de l'allongement de son lit. En amont du point de tangence de ces deux courbes, le régime du fleuve ne subit aucune modification; mais entre ce point de tangence et la mer, il y a partout un relèvement plus ou moins grand de la surface ordinaire des eaux.

Ce relèvement peut arriver à être assez considérable, en certains points, sur un fleuve qui s'avance autant dans la mer que le fait le Pô.

On sait par des documents positifs qu'a donnés M. Lombardini dans ses écrits (voir la carte Pl. 187), que depuis 1599, le Pô s'est allongé d'environ 22 kilomètres.

Avant le XIIe siècle, le Pô, en aval de l'embouchure du Panaro, ne coulait pas dans son lit actuel comme je l'ai déjà dit. Il se dirigeait d'abord sur Ferrare, par le lit abandonné qu'on appelle encore aujourd'hui Pô de Ferrare, puis se divisait en deux branches nommées Pô de Volano et Pô de Primaro.

Ces deux branches inférieures du Pô qui existent encore, mais qui ne servent plus à l'écoulement des eaux du fleuve, embrassent les lagunes de Comacchio.

Quelle était, dans les temps très-anciens, la configuration des rives de l'Adriatique et la position des embouchures du Pô? Je n'ai sur ce point aucune donnée positive et je ne hasarderai aucune hypothèse. Mais il est certain que les atterrissements faits en avant de l'embouchure du

Pô, et l'allongement du lit de ce fleuve qui en est la conséquence, ne sont pas seulement des actions modernes. Dans les temps anciens, les matières que le fleuve entraîne jusqu'à la mer étaient sans doute moins considérables qu'aujourd'hui, parce que les endiguements incomplets rejetaient alors une partie des matières dans les plaines basses qui en étaient exhaussées, et qu'en outre beaucoup de montagnes aujourd'hui dénudées étaient alors couvertes de forêts. Mais elles ne devaient pas être nulles.

Dès lors Ferrare a dû se trouver autrefois beaucoup plus près de l'embouchure du Pô qu'aujourd'hui et même qu'en 1599 (*).

La distance qui sépare actuellement Ponte Lagoscuro de la mer est de 78 kilomètres.

En 1599 elle n'était que de 56 kilomètres.

Le profil en long du Pô fait connaître qu'à une distance de 56 kilomètres de l'embouchure, la surface des eaux ordinaires est à 2^{m}.30 au-dessus du niveau de la mer.

A Ponte Lagoscuro, elle est actuellement à 4^{m}.74 au-dessus du même niveau.

On n'a pas de données positives sur la manière dont l'allongement du fleuve a modifié la courbe du profil en long des eaux ; mais quelque hypothèse que l'on fasse sur cette transformation, il faut bien admettre que la surface des eaux ordinaires, à Ponte Lagoscuro, s'est relevée d'une quantité assez importante depuis 1599, par suite de l'allon-

---

(*) M. Lombardini pense que très-anciennement, il existait à droite du Pô de Volano, près de Medelana, une branche du fleuve qui a formé, par ses déjections, la langue de terre sur laquelle passe la route provinciale de Comacchio, à travers les lagunes. Il voit encore la trace d'un autre bras dans la langue de terre qui se sépare de la précédente un peu en avant de Comacchio et se dirige vers Bellocchio.

Cette opinion de l'éminent ingénieur italien corrobore ce que je viens de dire sur les déjections du fleuve et la position de son embouchure dans les temps anciens.

gement du fleuve. Il n'y aurait certainement rien d'impossible à ce que ce relèvement fût de 2 mètres.

Le relèvement de la surface des eaux ordinaires n'est pas le seul effet que produise, au droit de Ferrare, l'allongement du Pô dans la mer.

Considérons l'état du fleuve en pleine crue.

A l'embouchure, la crue ne détermine aucune surélévation dans la mer. Sa hauteur y est nulle.

A une certaine distance de la mer, il existe un point où l'influence de cet anéantissement de hauteur de la crue cesse de se faire sentir; et de ce point jusqu'à la mer, la ligne joignant les hauteurs maximum des crues, prend alors une pente plus forte que celle des eaux ordinaires.

Le profil (Pl. 190, *fig.* 2) (*) des hauteurs des eaux du Pô, de Ponte Lagoscuro à la mer, au maximum des crues, et en eaux ordinaires, met ce résultat en évidence. Le profil de la crue et de celui des eaux ordinaires convergent à partir d'un certain point, et se rencontrent à la mer.

M. Lombardini pense que dans l'état actuel des choses, le point où commence la convergence des deux profils est à Porte Lagoscuro. La hauteur des grandes crues est plus forte à Ostiglia et à Sermide qu'à Porte Lagoscuro; mais M. Lombardini attribue l'excès de hauteur des crues, en ces deux points, aux courbes brusques du lit du fleuve.

Le dessin (Pl. 190, *fig.* 2) porterait à penser que la convergence des deux profils commence à Zocca. Mais il peut se faire, que la hauteur des crues en ce lieu soit augmentée par quelques circonstances particulières; et la parfaite connaissance qu'a M. Lombardini de ces matières, doit faire adopter son opinion.

Quoi qu'il en soit, que la convergence des deux profils

(*) Ce profil a été dressé au moyen de renseignements donnés par M. Lombardini dans sa notice sur la crue du 31 octobre au 2 novembre 1855.

commence à Ponte Lagoscuro ou à Zocca, il en résulte toujours que les crues se font maintenant sentir au droit de Ferrare, dans toute leur plénitude.

Or dans les temps anciens, l'embouchure du Pô étant beaucoup plus rapprochée de Ferrare, le point où les profils des crues et des eaux ordinaires commencent à converger, se trouvait certainement alors en amont de Ferrare. Par suite, au droit de cette ville, on ne subissait alors qu'une crue déjà modifiée et rendue moins haute; et d'autant moins que l'on envisage une époque plus reculée.

Par ce qui précède, il se trouve établi :

1° Que le Pô est partout encaissé dans la plaine submersible, et qu'en aucun point jusqu'à la mer, le fond du fleuve n'est au-dessus des campagnes environnantes;

2° Qu'au droit de Ferrare, le plan supérieur des grandes crues s'est élevé depuis les temps anciens; mais que ce relèvement ne provient que du perfectionnement des digues et de l'allongement du lit du Pô dans la mer.

3° Que l'allongement du lit du Pô agit de deux manières sur la hauteur des grandes eaux : d'abord en modifiant le profil en long des basses eaux, et augmentant un peu ses hauteurs dans le tronc inférieur du fleuve; ensuite, en déplaçant et rapprochant de la mer le point où les profils des hautes et des basses eaux commencent à converger.

Ces diverses circonstances suffisent parfaitement à rendre compte des modifications que la hauteur des grandes crues a subies dans le tronc inférieur du Pô, et notamment au droit de Ferrare. Il n'était pas nécessaire de recourir pour cela à l'hypothèse d'un exhaussement du fond du fleuve par le dépôt des sables entre les digues, hypothèse que rien ne justifie, et qui doit être reléguée au nombre des erreurs dont l'histoire des sciences offre malheureusement trop d'exemples.

L'exhaussement du lit du Pô, provoqué par les endiguements, serait, comme le fait très-justement observer

M. Lombardini, un fait extraordinaire et contraire aux lois naturelles qui régissent les fleuves à lit mobile.

L'endiguement, diminuant la section d'écoulement, augmente la hauteur des eaux et leur vitesse. Par suite, les eaux d'un fleuve endigué doivent entraîner plus facilement les matières qu'elles roulent, loin de les déposer plus abondamment dans le lit du fleuve.

L'endiguement a pour but de concentrer dans le lit même du fleuve toutes les matières tenues en suspension ou roulées par les eaux, et qui, sans cela, se seraient déposées en partie sur les terres riveraines. Mais en même temps il donne plus de force d'entraînement aux crues, et les matières, quoique plus abondantes, sont facilement transportées jusqu'à l'embouchure du fleuve.

C'est donc à l'embouchure du Pô que l'endiguement produit les plus grands changements, et ces changements deviennent à leur tour la cause des modifications du régime des eaux dans la partie inférieure du fleuve.

Si toutes les circonstances des crues du Pô trouvent ainsi une satisfaisante et complète explication dans le perfectionnement des digues et dans l'allongement du lit du fleuve sur la mer, et si le fond du fleuve n'éprouve nulle part un exhaussement extraordinaire, il n'en est pas de même, dit-on, de l'Adige.

Ce fleuve est en effet plus élevé que les campagnes voisines dans une partie de son cours.

Cette circonstance ne lui est pas particulière. Elle se présente également sur le Reno et sur la plupart des autres cours d'eau qui passent sans transition des régions montagneuses dans la vaste plaine submersible du littoral de l'Adriatique.

Les profils en long de l'Adige (Pl. 190, *fig.* 1) et du Reno (Pl. 189, *fig.* 1) (*) montrent la situation des choses.

(*) Le profil de l'Adige a été dressé au moyen de documents que

Peu après son arrivée dans la plaine, le fond de l'Adige est plus élevé que la campagne, à droite de son lit, et reste dans cette situation jusqu'après Piacenza sur environ 60 kilomètres de longueur. Quant à la campagne située à gauche du fleuve, elle est partout plus élevée que le fond du fleuve, excepté sur environ 10 kilomètres aux environs de Legnago. Dans la partie inférieure de son cours, sur environ 70 kilomètres de longueur, l'Adige est assez profondément encaissé.

Le Reno commence également à être au niveau ou audessus de la campagne, à son arrivée dans la plaine, et reste dans cette situation sur environ 30 kilomètres de longueur. Après quoi il s'encaisse dans la plaine, et reste alors plus bas que les campagnes voisines, sur environ 60 kilomètres de longueur.

Ces deux fleuves n'ont pas toujours coulé dans la direction qu'ils ont aujourd'hui.

L'Adige, d'après les renseignements donnés par M. Lombardini, passait autrefois près de la Cucca, Cologna, Montagnana et Este. C'est en 589, dans une grande inondation, que ce fleuve rompant sa rive droite s'est tracé le nouveau lit actuel dans les terrains bas et marécageux qui existaient entre l'ancien lit et le Pô.

Le Reno, comme j'ai déjà eu occasion de le dire, passait autrefois par Mirabello, Vigarono-Mainarda et Porollo, pour se jeter dans le Pô, quand le fleuve coulait devant Ferrare. Après l'établissement définitif du Pô dans son lit actuel, les eaux du Reno furent reçues dans les marais de Borgo, d'où elles sortaient par de nombreux canaux d'écoulement. En 1770 on a isolé le Reno des campagnes

---

je dois à l'obligeance de M. Lombardini. Celui du Reno est extrait du nivellement fait en 1844-1845, et dont les résultats ont été publiés par M. Brighenti, inspecteur général, qui a dirigé cette importante opération.

marécageuses où il jetait ses eaux, et on l'a contenu dans un lit endigué jusqu'au Pô de Primaro, dont le tronc inférieur est devenu, depuis cette époque, l'extrémité du Reno.

Ainsi des deux fleuves qui nous occupent, le premier, brusquement déplacé, a quitté son ancien lit pour s'en frayer un nouveau dans des plaines plus basses, et le second a été contenu dans un lit créé au milieu de vastes plaines presque sans pente où ses eaux s'épanchaient auparavant.

Il est résulté de là qu'à leur arrivée dans la grande plaine submersible du littoral de l'Adriatique, les lits endigués de ces deux fleuves ont d'abord présenté un changement brusque de pente dont la nature ne saurait s'arranger.

En pareilles circonstances les fleuves modifient le fond de leur lit, corrodant en certains points, exhaussant en d'autres, jusqu'à ce que la pente ait pris partout une valeur convenable, jusqu'à ce que la courbe du profil en long du fleuve soit régulière et satisfasse dans toutes ses parties aux nécessités de l'écoulement, sans faire naître ni accélération ni ralentissement.

Quand par ce travail naturel la pente s'est régularisée, comme je viens de le dire, l'état des fleuves devient *stable*, suivant l'expression très-juste qu'emploient les ingénieurs italiens, et le lit cesse de se modifier.

Il ne faut pas se méprendre sur la valeur de cette observation. La *stabilité* du lit d'un fleuve n'est pas son *immobilité* en tous ses points. La marche des grèves dans les fleuves à lit mobile produit une série d'ondulations qui donnent en chaque lieu une profondeur d'eau tantôt plus forte, tantôt moins forte. Mais cela n'altère pas la permanence du régime général ; pas plus que les rides produites par le vent sur la surface des eaux n'altèrent l'altitude générale de cette sur-

face. C'est ainsi qu'il faut entendre la stabilité du fond des fleuves à lit mobile.

De ce qui précède il résulte que l'exhaussement d'une partie du lit de l'Adige et du Reno au-dessus des campagnes voisines ne tient pas à ce que les endiguements favorisent le dépôt des sables. Il provient uniquement de ce que la pente de ces fleuves était brusquement brisée et se trouvait trop faible dans la partie intermédiaire de leur cours à leur arrivée dans la grande plaine submersible du littoral de la mer Adriatique. C'est là seulement que le fond des fleuves s'est exhaussé. En cas semblable l'exhaussement a pour but de donner aux pentes des fleuves les valeurs nécessaires, et qu'elles n'avaient pas. Il cesse dès que ces valeurs sont obtenues.

Les parties intermédiaires de l'Adige et du Reno où un pareil exhaussement s'est produit sont-elles arrivées au régime stable dont je viens de parler? ou doivent-elles s'exhausser encore?

Je n'ai pas de documents sur l'Adige. On peut cependant présumer que depuis douze siècles que l'Adige coule dans son lit actuel le régime permanent y est établi.

Mais le Reno n'a été endigué dans la partie intermédiaire de son cours que depuis 1770, et différents nivellements faits en 1801, 1818, 1830 et 1845, ont montré qu'en certains points il y a toujours eu des modifications d'une époque à l'autre.

A l'occasion du nivellement de 1844-1845 dont j'ai parlé précédemment, M. l'inspecteur général Brighenti a rappelé non-seulement les cotes obtenues en 1801, 1818 et 1830, mais encore celles d'un nivellement de 1761 antérieur à l'endiguement de la partie intermédiaire du Reno.

Il résulte de ce travail que de 1761 à 1845, le fond du Reno s'était exhaussé de 1m.048 au point où commence l'endiguement de 1770 à la Casa del Dosso, et de 1m.162 à Traghetto.

Mais l'exhaussement n'a pas marché progressivement et régulièrement dans le temps qui s'est écoulé de 1770, époque de l'endiguement, à 1845, date du dernier nivellement.

A la Casa del Dosso, le fond s'était déjà exhaussé de 0m.943 en 1801; en 1818 l'exhaussement au-dessus du niveau de 1761 s'était réduit à 0m.368; en 1830, il s'élevait à 1m.087; et se réduisait enfin à 1m.048 en 1845.

Les nivellements ne font pas connaître la quantité dont le fond s'était exhaussé en 1801, à Traghetto, au-dessus du niveau de 1761. On peut cependant présumer, d'après les cotes fournies, que le fond devait être alors à peu près à la même hauteur qu'en 1845. Mais en 1818 on le trouve à 1m.736, et en 1830 à 2m.405 au-dessus du niveau de 1761; puis, de 1830 à 1845, le fond s'est excavé de 1m.243, et aujourd'hui il n'est plus exhaussé que de 1m.162.

Les alternatives d'exhaussement et d'approfondissement tiennent, suivant toute probabilité, à la marche des grèves, et il est présumable, d'après les chiffres ci-dessus, que la plus grande partie du travail d'exhaussement du lit du Reno était déjà faite en 1801. L'exhaussement a continué cependant depuis cette époque, mais plus faiblement.

M. Barilari, inspecteur général, qui a dirigé comme ingénieur en chef les travaux du Reno, a émis, dans un écrit publié en 1858, l'opinion que le fond du Reno est arrivé au régime stable, ou tout au moins en est très-rapproché. L'opinion de M. Barilari s'accorde avec les observations précédentes.

L'exhaussement constaté d'une partie du lit de l'Adige et du Reno n'est pas particulier à ces fleuves. On l'observe dans le lit de beaucoup de rivières torrentielles à leur arrivée dans la plaine. Plusieurs rivières des Alpes traversent ainsi les plaines au moyen de lits endigués, dont le fond est souvent élevé de plus d'un mètre au-dessus des

campagnes voisines. On en voit de nombreux exemples dans la vallée de l'Isère.

Il n'y a donc rien, pas plus dans les exhaussements de certaines parties de l'Adige et du Reno, que dans les changements survenus dans le régime de la partie inférieure du Pô qui puisse justifier l'opinion que l'endiguement des fleuves d'Italie favorise l'ensablement et l'exhaussement de leur lit.

Dans le bassin du Pô comme partout ailleurs, les ensablements des rivières à lit mobile arrivent à un certain régime qui ne se modifie plus tant que les conditions générales du bassin ne changent pas. Les quantités de matières apportées dans le lit d'un fleuve par ses affluents sont alors à peu près constamment égales à celles des matières entraînées par les eaux dans la mer.

Si quelque perturbation survient dans le régime du bassin, par exemple, si l'on modifie les surfaces sur lesquelles les déjections des affluents peuvent se déposer, ou si l'on fait de grands défrichements sur des terres friables, il en peut résulter une modification dans la nature et l'importance des ensablements. Mais après un nombre d'années plus ou moins grand, suivant les changements survenus, un nouveau régime permanent s'établit en vue des nouvelles conditions.

Il existe dans le bassin du Pô un fait dont on ne parle pas, et qui mérite cependant de fixer l'attention. C'est l'élévation du fond de quelques torrents au-dessus du sol de la haute plaine; élévation que j'ai déjà signalée dans les premiers chapitres de ce mémoire.

Ce fait ne frappe pas les regards; mais les nivellements des chemins de fer le montrent clairement. Il est surtout très-marqué sur la haute plaine méridionale, au pied des Apennins (voir le profil entre Plaisance et Bologne, Pl. 188, *fig.* 6).

L'explication en est simple. Les torrents dont les eaux

ne s'épurent pas dans les lacs ont entraîné des matières qui se sont déposées à l'issue de la montagne sur la haute plaine, et ont formé un cône de déjection plus ou moins allongé. Les eaux se sont creusé leurs lits dans ces dépôts, et le fond des torrents se trouve ainsi plus haut que le sol primitif de la plaine, tant que l'on n'est pas arrivé à la limite du cône de déjection.

Ici donc encore, comme sur les fleuves dont j'ai parlé précédemment, les endiguements ne sont pour rien dans l'élévation du fond du lit des eaux.

Il serait intéressant d'étudier la forme des dépôts en question, d'examiner la manière dont ils se sont formés, de déterminer leur longueur, leur largeur et leur hauteur. Ces documents pourraient servir à éclaircir l'importante question du transport et de la marche des graviers.

Je n'ai pu, dans un voyage rapide, recueillir aucun renseignement qui permette de présenter sur cette matière, même de simples approximations. Mais cette observation montre que, sous beaucoup de rapports, le bassin du Pô peut donner des renseignements pleins d'intérêt. Il sera longtemps encore un champ d'utiles investigations pour les ingénieurs.

Les endiguements des torrents dont je viens de parler ne sont pas très-anciens. Sans pouvoir indiquer les époques de construction de toutes ces digues, je citerai celles de la Secchia, qui n'ont été régulièrement établies qu'en 1300. Jusque-là, les torrents ont pu verser leurs déjections sur les terrains qu'ils parcourent et principalement dans les basses plaines. L'effet de ces dépôts a été d'exhausser peu à peu le sol de la basse plaine et de l'amener à la hauteur où il est aujourd'hui. On a commencé l'endiguement des torrents quand on a reconnu que la basse plaine était assez exhaussée pour pouvoir être cultivée, qu'elle était *mûre*, pour me servir d'une expression des ingénieurs italiens.

A ce sujet, M. Lombardini fait observer très-judicieuse-

ment que c'eût été un malheur pour l'avenir de ces pays, si l'on avait trop tôt endigué les torrents.

Il exprime une opinion analogue au sujet des endiguements qui se font le long du Pô, près de son embouchure. On se presse trop, dit-il, de construire ces digues. Les matières entraînées par le fleuve sont ainsi toutes rejetées dans la mer, au lieu de pouvoir se déposer sur les terres voisines de l'embouchure; ce qui a le double inconvénient d'empêcher l'exhaussement de ces terres, et d'allonger le lit du fleuve.

C'est par ces sages réflexions du savant ingénieur dont les travaux ont jeté tant de lumière sur ces graves questions, que je terminerai cette notice.

Elles sont une nouvelle preuve de tout ce que l'établissement des digues exige de soins et de discernement; et c'est un enseignement qui s'ajoute à tous ceux que l'on peut tirer de l'étude des travaux hydrauliques de l'Italie.

C. — *Tableau des hauteurs moyennes des golènes et des campagnes le long du tronc inférieur du Pô, de l'embouchure du Panaro à la mer.*

NOTA. Les hauteurs sont rapportées à la surface des eaux du 22 septembre 1813 :

A Ponte-Lagoscuro, les eaux étaient ce jour là :

A $0^m.40$ au-dessus de l'étiage ordinaire ;

A $1^m.92$ au dessus du plus bas étiage de 1817.

LIEUX	Distances.	HAUTEUR AU-DESSUS DES EAUX DU 22 SEPTEMBRE 1813. rive droite		rive gauche	
		de la golène.	de la campagne.	de la golène.	de la campagne.
	m.	m.	m.	m.	m.
Embouchure du Panaro.	4 500	»	1.90	»	»
Palantone.	5 500	»	2.10	»	»
Stienta.	8 500	4.80	2.38	1.40	»
Ponte-Lagoscuro	5 100	»	0.84	3.62	1.00
Francolino	8 300	4.90	0.70	»	1.90
Zocca.	3 400	4.70	1.88	»	1.63
Polesella.	12 300	3.72	0.60	4.21	1.24
Crespino.	7 500	3.26	0.20	4.32	0.30
Berra.	6 200	3.95	—0.22	3.00	1.21
Santa-Maria.	15 400	2.66	1.52 (*)	2.85	0.73
Cavanella di Pô.	5 200	1.88	0.93	»	»
Taglio di Pô.	5 000	2.08	1.32	»	»
Basa Tognella.	6 450	1.56	0.75	»	»
Branche de Gnocca. . . .	2 550	1.31	0.25	»	»
Branche de Tolle	12 600	0.84	0.33	»	»
Extrémités des digues. .	2 050	»	»	«	»
Embouchure à la mer . .					

(*) La cote 1.52 de la campagne entre Santa-Maria et Cavanella di Pô provient d'une brèche ouverte en 1075, et qui n'ayant été fermée qu'en 1728, a permis au fleuve d'élever cette partie de la campagne au moyen de matières qu'il y a deposées.

B. — *Tableau des hauteurs des crues à Ponte Lagoscuro et des brèches fai*

DATES des crues.	HAUTEUR des crues à Ponte Lagoscuro au dessus des plus basses eaux	INDICATION DES BRÈCHES dans les digues continues en aval de Crémone et du torrent Chiavenna.	INDICATION DES BRÈCHES dans les digues isolées en amont de Crémone et du torrent Chiavenna.
Novembre 1705.	6.82	Toutes les digues du Pô ont été rompues, et la plaine submersible a été transformée en un lac immense. On signale 273 brèches dans la province de Mantoue, et 48 dans le seul district de Guastalla.	Toutes ces digues ont probableme aussi été rompues.
Novembre 1719.	6.84		
Novembre 1729.	7.13		
Mai 1733.	7.27		
Octobre 1755. .	7.44	Voir l'observation.	Voir l'observation.
Septembre 1772.	7.63		
Juillet 1777. . .	7.77		
Juillet 1779. . .	7.81		
Novembre 1801.	7.69	La digue gauche a été rompue entre l'Oglio et le Mincio, à Scorzarola, sur 500m de longueur, à la Camallina sur 900m de longueur et à S.-Giacomo. Pas de renseignem. sur la rive droite.	On n'a point de renseignements préc sur ces digues. Mais très-probabl ment la plupart d'entre elles ont e des brèches. Car même aujourd'hu elles sont presque toujours rompu pendant les crues, n'ayant pas encor reçu les perfectionnements néces
Décembre 1807.	7.94	La digue gauche a été rompue en deux points à Seravalle, à 3 kil. en amont d'Ostiglia, sur 250m et 80m de long. Point de renseign. sur la digue droite.	Même note qu'à la crue de nov. 180
Mai 1810.	8.15	La digue gauche a été rompue à Salietta en aval du Mincio sur 80m de long. Point de renseign. sur la digue droite.	. . . . *Id.* . . . .
Octobre 1812. .	8.17	La digue gauche n'a pas été rompue. La digue droite a été rompue à Ravalle à 7 kilomètres en aval du Panaro.	. . . . *Id.* . . . .
Octobre 1823. .	8.11	La digue gauche n'a pas été rompue.	. . . . *Id.* . . . .
Mai 1827.	8.16	Point de renseign. sur la digue droite.	
Octobre 1839. .	8.31	La digue gauche n'a pas été rompue. Point de renseign. sur la digue droite.	. . . . *Id.* . . . .
Novembre 1839.	8.58	La digue gauche n'a pas été rompue. La digue droite a été rompue à Bonnizzo et à Castel Trivellino, sur 750 et 300m de longueur.	On signale la rupture de toutes les digues des deux rives entre les torrents Chiavenna et Bardonnezza sur la rive droite, et de Crémone au Tessin sur la rive gauche. Il est présumable que les digues situées plus en amont ont été également rompues
Novembre 1840.	8.25	Aucune brèche ne s'est formée dans les digues, sur l'une et l'autre rive.	Même note qu'à la crue de nov. 1801
Octobre 1841. .	8.09		
Mai 1846.	8.10	. . . . *Id.*	
Octobre 1846. .	8.18		Les digues de la rive droite n'ont poin eu de brèches entre les torrent Chiavenna et Nure. Mais elles on été rompues en plusieurs points e amont du torrent Nure. Toutes les digues de la rive gauche e amont de Crémone ont été rompues
Novembre 1855.	8.19	. . . . *Id.*	Point de renseignements précis su ces digues. On peut présumer qu des ruptures s'y sont faites comm en 1846.
Octobre 1857. .	8.58	Aucune brèche ne s'est formée dans la digue gauche. Il s'est fait deux brèches dans la digue droite à Mezzano Rondani, où la digue était déprimée.	Les digues de la rive droite ont ét rompues à l'exception de celles com prises entre les torrents Bardo nezza et Tidone; puis entre la Treb bia et Plaisance. Les digues de la rive gauche ont tout été rompues.

du Pô et de ses affluents pendant les dix-huitième et dix-neuvième siècles.

INDICATION DES BRÈCHES dans les digues des affluents.	OBSERVATIONS.
Point de renseignements.	Depuis la réparation des brèches de 1705, les digues du Crémonais sur 60 kil. de longueur, n'ont jamais été rompues.
.... *Id.*	On n'a pas de renseignements précis sur les effets de ces crues. Mais il est très-probable que la plupart, sinon toutes, ont occasionné des brèches; car les digues du Mantouan étaient alors à la charge d'une vingtaine de syndicats qui avaient peu de ressources, et n'ont pu faire aux digues les perfectionnements nécessaires. Les dépenses d'entretien de ces digues ont passé en 1785 à la charge de la province de Mantoue, et en 1801, à celle de l'État qui a fait peu à peu les travaux de perfectionnement.
.... *Id.*	Les eaux introduites dans les plaines protégées par les trois brèches de la digue gauche entre l'Oglio et le Mincio, ont coupé les deux digues du Mincio, puis celles de l'Adige. Par ces dernières, elles ont inondé le bas Mantouan.
.... *Id.*	Les brèches de la digue gauche à Seravalle ont inondé une partie de la Polésine.
.... *Id.*	La brèche de la digue gauche à Salietta a inondé une petite partie de la Polésine. L'inondation a été arrêtée à Malaza par une digue transversale.
.... *Id.*	La brèche de Ravalle n'a pas été occasionnée par l'excès de hauteur des eaux, mais par des corrosions. Elle a eu lieu quelques heures après le maximum.
En 1823 et 1827, la digue droite de l'Oglio a été rompue à Cavaltone. Point de renseignements.	Les brèches de la digue de l'Oglio à Cavaltone ont occasionné l'inondation de la plaine, jusqu'à la digue du Pô, sur 12 000 hectares.
Une brèche dans la digue droite de l'Oglio à Cavaltone.	Les brèches de Bonnizzo et Castel Trivellino, n'ont pas été occasionnées par l'excès de hauteur des eaux, mais par des corrosions, et pendant la période de décroissance.
Des brèches dans les parties des digues du Taro et du Stirone qui reçoivent le reflux des eaux du Po.	La brèche du Taro à Viarolo a inondé la plaine basse jusqu'aux digues du Pô et de la Parma. Une brèche a été faite dans la digue du Pô à Mezzano Rondani, pour la rentrée de ces eaux dans le lit du fleuve.
Une brèche dans la digue droite du Taro à Viarolo.	
Point de renseignements sur la crue de 1840	
Une brèche dans la digue droite du Panaro en 1841.	
Une brèche dans la partie des digues de la Parma qui reçoit le reflux des eaux du Pô	
Point de renseignements.	
Il n'y a eu aucune rupture de digues d'affluents.	Il existait une forte dépression à Mezzano Rondani, au point où la digue droite a été rompue. Les digues de la rive droite comprises entre les torrents Bardonnezza et Tidone avaient été perfectionnées depuis 1846.

A. — *Tableau des hauteurs des principales crues du Pô, au-dessus des plus basses eaux.*

INDICATION des hydromètres.	DISTANCES en kilomètres.	1801 13 novembre	1807 12 décembre	1810 18 septem.	1812 15 octobre.	1823 5 octobre.	1823 16 octobre.	1827 13 mai.	1839 20 octobre	1839 3 novembre	1840 6 novembre	1841 31 octobre.	1846 20 mai.	1846 20 octobre.	1855 1 novembre	1857 octobre.
		m.	m.	m.	m.	m,	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
Monticelli.		7.01	»	6.79	6.69	6.58	»	»	7.30	5.44	7.00	6.66	7.80	8.20	7.76	8.74
Plaisance.	22.0	7.59	»	»	»	7.09	»	»	8.06	7.05	7.44	7.50	8.00	8.33	7.99	8.55
Crémone.	40.8	5.98	»	5.88	»	5.05	4.91	5.24	5.69	5.57	5.69	5.60	5.57	5.73	5.84	6.35
Isola Pescaroli.	24.3	6.28	»	»	6.03	5.43	5.38	5.67	5.96	5.85	5.64	5.75	6.10	5.92	6.16	6.58
Casal Maggiore.	22.6	6.50	»	»	5.82	5.56	5.51	6.28	6.44	6.42	6.10	6.45	6.45	6.66	6.43	6.86
Dosolo.	26.5	8.21	7.82	»	»	»	7.51	»	7.74	7.99	7.77	7.97	7.79	7.95	8.16	»
Borgoforte.	17.5	8.42	8.22	7.76	8.22	7.33	7.80	8.20	8.08	8.56	7.78	7.87	8.13	8.25	8.61	8.93
S. Benedetto.	22.6	7.90	8.00	8.45	8.50	»	8.46	8.60	8.37	8.89	8.21	8.59	8.38	8.61	8.73	8.93
Ostiglia.	19.4	8.66	8.91	9.02	9.17	»	9.11	9.06	9.09	9.55	8.79	9.04	9.11	9.24	9.35	9.67
Sermide.	20.0	8.08	8.23	8.40	8.56	»	8.59	8.43	8.45	8.70	8.04	8.36	»	8.56	8.59	»
Quatrelle.	15.2	8.06	8.36	8.35	8.73	»	8.65	8.56	8.55	8.85	8.30	8.40	8.58	8.70	8.60	9.05
Ponte Lagoscuro.	20.3	7.69	7.94	»	8.17	»	8.11	8.16	8.31	8.58	8.25	8.09	8.10	8.18	8.19	8.58
Polesella.	16.2	»	»	»	7.87	»	7.86	7.94	8.11	8.45	8.03	7.95	»	»	»	8.50
Crespino.	12.4	»	»	»	7.58	»	7.39	7.50	7.51	7.78	7.61	7.48	»	»	»	7.88
Cavanelle di Pô.	27.5	»	»	»	5.45	«	5.50	5.61	5.72	5.97	5.67	5.63	»	»	»	»
Emb. de Porto Scanarello.	30.7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40

N° 267

COMPTE RENDU

Du service hydraulique du Doubs de 1858-1859.

Par M. PARANDIER, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

INTRODUCTION.

Exposé général des attributions du service hydraulique.— Depuis l'organisation du service hydraulique (fin 1849) jusqu'à ce jour, le nombre des questions et des affaires dépendant de ce service tend à s'accroître et s'accroît journellement de plus en plus.

Dans le principe, il ne s'agissait, pour ainsi dire, que de *régulariser les concessions de cours d'eau pour usines*, et rarement même de prises d'eau pour irrigation.

Le nombre de ces sortes d'affaires étant considérable dans un département montagneux comme celui du Doubs, il n'était pas surprenant qu'il y eût alors, avant la création d'un service spécial, beaucoup d'arriérés.

Extension progressive de ces attributions. — Le service hydraulique, avec ses ressources primitives en personnel, composé d'un ingénieur ordinaire et de trois conducteurs, pouvait cependant, avec l'aide de quelques agents temporaires, suffire à ces attributions primitives; mais, peu à peu, les projets de dessèchement, d'assainissement et d'irrigation, la réorganisation d'anciennes associations et l'organisation de nouvelles associations syndicales, avec avant-projets préalables dressés pour préciser le but, l'importance,

la dépense et l'utilité des entreprises, les règlements des prises d'eau pour les irrigations relatives à ces entreprises elles-mêmes, etc., etc., sont venus progressivement augmenter les premières attributions de ce service.

Il en a été de même, plus tard, de l'opération du drainage et de toutes les mesures accessoires, telles que : la concession des machines à fabriquer les tuyaux, le contrôle de cette fabrication, les essais et projets de ce mode d'opération agricole, l'étude des modifications à faire subir aux sols drainés, etc.; les questions de curage des cours d'eau, etc., etc.

Il est malheureusement arrivé, comme toujours, dans les premières années où se développent les services qui ont beaucoup d'avenir, que les ressources du personnel ont été loin de s'accroître dans la même proportion que celle des affaires.

Ce n'est donc pas sans de grandes difficultés que, dans cette situation, il a été possible de faire face aux exigences progressives du service, tant que celui des inondations dans les bassins du Doubs et de l'Ognon, qui y a été annexé, et dont beaucoup d'opérations servent au premier, n'a pu, en raison de la pénurie générale du personnel, être doté, sous ce rapport, de ressources proportionnées à la multiplicité et à l'importance des projets et travaux qui rentrent dans ses attributions, et dont son but exige l'incessant développement. Le complément des ressources en personnel de ce dernier service est assuré et à la veille de lui être attribué.

Pour le service hydraulique lui-même, l'administration a compris la nécessité d'accroître ses moyens d'action, en présence d'un mouvement ascendant d'affaires, et la connexité qui lie ces deux services l'un à l'autre continuera à assurer leur marche.

Le compte rendu ci-après n'est relatif qu'au service hydraulique; nous le divisons en cinq chapitres.

CHAPITRE PREMIER.

STATISTIQUE GÉNÉRALE USUELLE DES COURS D'EAU.

---

§ 1er. *Renseignements généraux.*

Nous avons commencé (*) un travail qui consiste à apprécier les données de pente et de débit de chaque cours d'eau dans ses différents états de basses, de moyennes ou de grandes eaux.

Ces données sont résumées dans une formule que nous avons fait imprimer et qui peut s'appliquer à tous les cours d'eau, quelle que soit leur importance, depuis une simple source jusqu'à un fleuve.

Déjà la majeure partie des indications statistiques que comporte cette formule y sont inscrites en minute pour tous les cours d'eau, grands et petits, du bassin supérieur du Doubs, en amont du village d'Arçon, et pour quelques autres parties inférieures du bassin.

On déduira de ces documents, pour chaque rivière, ruisseau, source, etc., au fur et à mesure qu'on leur aura fait l'application de la formule, sa puissance productive, tant en force motrice industrielle, utilisée ou disponible, qu'en chute et volume de basses ou grandes eaux, utilisées ou utilisables par l'agriculture et par l'industrie.

Un des éléments principaux de la statistique des cours d'eau est, comme nous venons de l'indiquer, celui qui comprend l'évaluation de leur débit et la constatation des variations de ce débit. Les observations de cette nature ont d'abord été commencées d'après nos instructions, depuis

(*) Le service des inondations aidant.

dix-huit mois environ, sous la direction du conducteur chargé de l'arrondissement du Sud (service ordinaire), sur le Doubs supérieur et sur le Drugeon.

Elles ont été entreprises ensuite sur la rivière le Doubs, inférieur, par l'ingénieur ordinaire du service hydraulique, et conformément aux instructions ministérielles du 29 août 1857.

Un somme de 857f.30 a été dépensée sur l'exercice 1857 pour l'établissement des échelles hydrométriques sur un grand nombre de points bien choisis, l'acquisition d'instruments et le salaire d'observateurs. Le nombre des échelles et des stations d'observation est en ce moment, pour les cours d'eau du département du Doubs, de 90, et doit encore s'accroître et se compléter.

Enfin, nous nous sommes occupé de réunir et de coordonner, pour les besoins du service hydraulique et des inondations, les observations faites sur le Doubs moyen, depuis trente-cinq ans, par le service de la navigation du canal du Rhône au Rhin.

C'est par les nombres déduits des recherches que nous venons d'indiquer, et dont nous possédons déjà quelques éléments, qu'il sera permis d'apprécier la marge immense ouverte dans l'avenir au développement de l'*hydraulique agricole* et de l'*hydraulique industrielle.*

§ II. *Statistique de l'utilisation agricole des eaux.*

Cette statistique doit consister :

1° Dans un état de toutes les irrigations en activité, sur lequel seront indiqués leur superficie, le volume d'eau qu'elles emploient tant en eaux ordinaires qu'en grandes eaux, et enfin la hauteur de chute qu'elles utilisent;

2° Dans un état analogue pour les irrigations qu'il est possible de créer.

Carte hydrographique du Doubs dressée en 1855. — La carte hydrographique du département, que nous avons publiée en 1855, a déjà nécessité un premier travail de cette nature dans lequel on trouve, entre autres données importantes, et pour toute l'étendue du département, la somme de fertilisation que l'agriculture retire aujourd'hui des cours d'eau, et celle qu'elle pourrait en retirer en entrant plus largement dans les entreprises qui ont pour but l'*emploi des eaux* (*).

Données qui peuvent être déduites de la statistique de la haute vallée du Doubs. — On peut déjà apprécier dès aujourd'hui, par les documents sommaires suivants, extraits de notre étude détaillée de la haute vallée du Doubs, à l'amont de l'embouchure du Drugeon, les avantages immenses qu'un emploi rationnel des eaux peut réaliser en faveur de l'agriculture, sur une superficie déterminée, dans les hautes montagnes du département.

Cette partie du bassin du Doubs présente une surface totale d'environ 56 000 hectares; la surface actuellement irriguée n'est au plus que de 10 hectares (et encore les irrigations ne sont-elles pratiquées que d'une manière imparfaite); tandis qu'il serait possible d'irriguer une surface de 5 566 hectares, et d'obtenir de l'ensemble de cette opération une mieux-value totale qu'on peut évaluer (distraction faite de celles à obtenir d'abord par le dessèchement des parties marécageuses) à une somme d'environ 10 millions.

Conséquences tirées de ces données au point de vue des irrigations possibles dans le département du Doubs. — Si l'on considère maintenant :

1° Que les irrigations peuvent s'appliquer aussi bien et avec autant de succès (surtout celles à eaux troubles) aux terres arables et aux forêts qu'aux prairies, auxquelles on

(*) La reproduction de cette carte n'a pas paru nécessaire.

réserve spécialement jusqu'ici dans le Doubs ce puissant moyen d'augmenter la fertilité du sol ;

2° Que les eaux peuvent se dériver sur la plupart des revers de côte aussi bien que sur les parties basses du sol, on comprendra facilement que les arrosages qui, d'après les documents généraux que nous possédons, ne s'appliquent encore aujourd'hui qu'à 2 000 hectares au plus dans ce département, pourraient s'étendre à près de 50 à 60 000 hectares, sans réduire la force motrice disponible pour l'industrie, attendu que la majeure partie des irrigations peut et doit se faire à *eaux troubles*, c'est-à-dire lorsque les cours d'eaux sont à l'état de crue et que les usines ne peuvent utiliser qu'une faible partie des eaux qu'ils débitent.

§ III. *Statistique de l'utilisation industrielle des eaux.*

Définition de l'objet et du but de cette statistique. — Ici nous entendons parler de *la force motrice utilisée ou disponible des cours d'eau, sans considérer la nature du travail auquel cette force est ou peut être appliquée, ni même le genre et le mérite des moteurs employés;* ces dernières questions sont de celles dont, pour le moment, le service hydraulique n'a pas à s'occuper.

Quant aux *conditions d'existence ou de réglementation administrative des usines*, elles sont l'objet d'un chapitre particulier de ce compte rendu, qui sera complété par l'exposé de la situation générale de la réglementation usinière sur nos cours d'eau.

Ainsi définie, cette partie de la statistique générale et usuelle de la force motrice des cours d'eau, résulte de l'étude particulière des conditions actuelles de pente et de débit de chacun de ceux-ci ; conditions d'où l'on déduit *la force motrice totale qu'ils représentent.*

L'appréciation de la partie de cette force motrice, consacrée aux usines, constitue la statistique de *la force motrice utilisée;* le reste, déduction faite de ce qui est déjà utilisé par l'agriculture, représente *le total disponible pour l'agriculture et l'industrie* (*).

Pour déduire de ce total ce qui est exclusivement *applicable à l'industrie*, il faudrait avoir étudié préalablement *l'aménagement et l'utilisation agricole des eaux pour chaque bassin*. Elle ne pourra donc être établie progressivement qu'à la suite d'études détaillées, analogues à celles que nous avons faites pour la haute vallée du Doubs, dont nous avons déjà parlé et desquelles on tire les documents suivants :

Données qui peuvent être déduites de la statistique d'utilisation des eaux de la haute vallée du Doubs. — Il résulte de ce travail :

Que pour cette partie du bassin de cette rivière, les 78 usines qui y existent absorbent (**) une force motrice de 3 100 chevaux,

Et que, sans nuire aux irrigations projetées dans ce bassin, cette force motrice pourrait être élevée à un quart en sus; mais comme la force affectée aux usines actuelles est déjà considérable pour les besoins, il nous a paru utile de ne réserver en définitive aux usines qu'une force totale de 3 200 chevaux, le surplus de la force productive des cours d'eau étant réservé pour l'irrigation des 5 560 hect. dont il est parlé dans le paragraphe précédent.

(*) On fait abstraction du volume d'eau absorbé par la navigation sur les rivières navigables, parce que généralement ce volume n'est qu'une très-faible partie de celui du cours d'eau.

(**) Nous employons ce mot de préférence à celui de « utilisent, » parce que la plupart de ces usines sont généralement mal établies et n'utilisent guère que 25 à 30 p. 100 de la force virtuelle qui leur est attribuée.

Voici maintenant quelques chiffres sur l'ensemble du département.

Force motrice utilisée et disponible des cours d'eau du département.

1° Calculs extraits de la Géographie physique du Doubs, dressés en 1829 par l'ingénieur en chef soussigné, complétés par de récents documents.

En 1829, à notre arrivée dans le Doubs, nous nous étions occupé de cette importante question, et à l'aide de quelques nivellements et des jaugeages de quelques cours d'eau de ce département, nous en avions calculé la force motrice totale, puis celle qui était alors utilisée pour les établissements industriels, et enfin celle qui restait disponible pour les besoins de l'industrie et de l'agriculture.

Nous résumons ces calculs en les rectifiant et en les étendant d'après les données les plus exactes et les plus complètes que nous possédons aujourd'hui (*).

La force motrice moyenne totale de la partie de la rivière du Doubs, comprise entre sa source et la limite des départements du Doubs et du Jura est de(**) — chev. vap. 244 180

(*) Nous avions abordé ces questions dans un travail sur la géographie physique du département du Doubs; travail transmis à la Société centrale de géographie et communiqué à l'Académie des sciences et arts de Besançon, qui en a rendu compte dans son bulletin de 1832.

(**) Ce nombre résulte des calculs résumés dans le tableau suivant :

INDICATIONS des parties du Doubs considérées	DIFFÉRENCE de niveau de l'amont à l'aval.	DÉBIT moyen des eaux usinières.		FORCE motrice en kilogrammètres.
	m.	m. c.	l.	km.
De la source au pont d'Arçon.	151.20	5	980	901 176
Du pont d'Arçon à Audincourt.	462.50	21	760	10 064 000
D'Audincourt à Besançon. . .	80.20	64	360	5 161 672
De Besançon à la limite du Jura.	23.04	94	740	2 183 620
		Total.		18 313 468

Soit $\frac{18313468}{75} = 244180$ chevaux-vapeur.

	chev. vap.
Report	244 180
Les usines, au nombre de 88, qui existent entre ces deux points, absorbent une force motrice de (*)	71 133
Reste disponible celle de.	173 047
Pour le Dessoubre et le Cuisancin réunis, nous avons trouvé que leur force motrice était de. . .	5 250
Sur quoi les usines en utilisaient.	1 310
Reste disponible.	3 940
Enfin l'Allan, la Savoureuse et la Luzine, sur le département du Doubs, représentent ensemble une force motrice de.	1 113
Sur quoi les usines en absorbent une de. . .	367
Reste disponible.	746
Soit donc, pour les six cours d'eau ci-dessus, une force motrice utilisée par les usines de. . .	72 810
Et une force motrice disponible de.	177 733
Total.	250 543

2° Calculs extraits du mémoire général à l'appui du projet de chemin de fer de Dijon à Mulhouse, rédigé par le soussigné en 1842.

Lors des études du projet de chemin de fer par la vallée du Doubs, que nous publiâmes en 1842, nous fîmes aussi, pour démontrer l'avenir de cette ligne dont le pays est aujourd'hui en possession, les calculs de la force motrice des cours d'eau, sur une zone de 12 kilomètres à droite

(*) On n'a pas compris dans ce nombre la force motrice représentée par les seize barrages construits en aval du confluent de l'Allan, pour le service du canal du Rhône au Rhin.
Ces barrages, qu'il serait facile d'utiliser pour des usines, représentent une force motrice de plus de 24 483 chevaux-vapeur.

et à gauche du tracé, et nous trouvâmes que leur force motrice était de.	chev. vap. 58545
Sur quoi les usines, au nombre de 334, en absorbaient.	15155
De sorte qu'il restait une force disponible de (*)	43390

Il paraît surprenant, d'après ce qui précède, que, dans la partie supérieure du Doubs, l'industrie utilise en ce moment presque la totalité de la force motrice des cours d'eau, tandis que, dans la partie inférieure, où l'industrie est cependant relativement plus développée, la force motrice utilisée n'est que le quart à peine de la force motrice totale des cours d'eau.

Cette anomalie trouve son explication dans ce fait que presque toutes les usines des parties supérieures du département sont des *moulins* et des *scieries*.

Les 79 usines établies dans le bassin supérieur du Doubs se composent en effet de :

128 paires de meules pour moulins à farines; 194 scies verticales; 39 scies circulaires; 14 ribes à chanvre; 4 moulins à tan; 4 battoirs à grain; 14 meules d'huilerie; 21 martinets de forges pour la fabrication du fer et la grosse taillanderie; 2 laminoirs; 12 soufflets de forges.

Dans la partie inférieure du bassin, les usines sont proportionnellement moins nombreuses; mais elles sont plus importantes et consacrées plus particulièrement à des industries variées.

Conséquences à tirer des calculs qui précèdent au point de vue de l'avenir réservé à l'industrie. — Nous avons fait voir précédemment, par divers exemples, combien est grande la marge qui reste disponible tant pour l'agriculture que

(*) Il est bien entendu que tous les chiffres ci-dessus ne sont qu'approximatifs, calculés plutôt en dessous qu'en dessus de la réalité, et qu'ils seront ultérieurement rectifiés lorsqu'on possédera des données plus précises et plus complètes.

pour l'industrie sur les cours d'eau du département; si maintenant on tient compte de l'influence des chemins de fer qui vont traverser en tous sens la Franche-Comté, et de celle de l'amélioration des routes et chemins qui y aboutissent, on peut prévoir, par ces simples aperçus, quel avenir immense est réservé à l'industrie, si elle parvient à utiliser toute la force motrice des cours d'eau qui sillonnent le pays.

CHAPITRE DEUXIÈME.

ÉTUDES ET TRAVAUX DES GRANDS APPROVISIONNEMENTS ET AMÉNAGEMENTS D'EAU POUR L'AGRICULTURE ET L'INDUSTRIE.

Définition et utilité de ces études et travaux. — Nous classons dans ce chapitre les études et travaux qui ont pour but de créer de grands réservoirs d'*eau de crue*, soit pour approvisionnements *permanents*, c'est-à-dire destinés à demeurer disponibles tant qu'on le juge utile, soit pour réserves *temporaires*, c'est-à-dire de durée très-momentanée et dont l'effet sera d'enlimoner de vastes superficies et d'atténuer, en précisant l'instant du remplissage, la hauteur maximum des grandes crues.

Nous envisageons ici à part les grandes réserves dont il s'agit, en raison de leur *généralité d'application*, car chaque entreprise d'hydraulique agricole, et surtout de culture *prairiale*, aura aussi sa *réserve temporaire* pour l'enlimonage, et souvent même ses *réserves permanentes* pour les irrigations en temps de sécheresse; mais ces réserves, spécialement et exclusivement créées *pour chaque entreprise*, feront partie intégrante des mesures et des travaux qui leur sont afférents.

Bien que ces réserves doivent concourir aussi un jour et progressivement, dans une certaine mesure, par l'organisation et la précision qu'on pourra apporter dans leur jeu, à

perfectionner le régime des basses et des grandes eaux, nous en négligeons jusqu'à nouvel ordre *l'effet direct à ce point de vue.*

D'après cela, comme les réserves spécialement destinées à chaque entreprise ou groupe d'entreprises sont mentionnées dans les projets et travaux de ces entreprises, ainsi que nous l'avons fait dans les projets d'ensemble dont il sera parlé ci-après (*), il ne doit donc être ici question que des *grands approvisionnements ou réservoirs généraux*, dont les effets doivent se faire sentir d'une manière sensible dans la partie inférieure des bassins, et auxquels s'appliquent des études et des projets en quelque sorte indépendants de toute *entreprise particulière* d'hydraulique agricole ou industrielle (**).

L'établissement des grands réservoirs permanents permettra d'augmenter, suivant leur importance, le débit des cours d'eau pendant la sécheresse, et par conséquent d'*accroître la force motrice attribuée à l'industrie*, ainsi que le

---

(*) 1re partie du chapitre troisième.

(**) Parmi les les réserves temporaires ou permanentes, qui s'appliqueront à un certain ensemble d'entreprises d'hydraulique agricole et industrielle, il en sera qui pourront appeler d'une manière particulière l'attention de l'administration supérieure, parce qu'en définitive, leurs effets ne s'appliqueront pas seulement aux entreprises pour lesquelles elles auront été projetées, mais encore à toutes celles qui existent déjà ou qui pourraient exister dans les parties inférieures du bassin où elles doivent être établies.

C'est ainsi, par exemple, que les réserves permanentes et temporaires, que nous avons projetées dans le bassin supérieur du Doubs pour l'aménagement et l'utilisation agricole industrielle des eaux de ce bassin, et dont la capacité comme *réserve permanente* est de 17 000 000 m. c., et comme réserve temporaire de 110 000 000 m.c., auraient une influence très-sensible sur le régime des eaux dans les parties inférieures du bassin.

Pour ces motifs, et même avant la réalisation des entreprises à l'ensemble desquelles ces réserves sont spécialement destinées, il ne serait pas hors de propos que l'état, le département et même les communes y affectassent quelques fonds le plus tôt possible.

volume des eaux destinées aux irrigations qui pourraient alors continuer à fonctionner même pendant cette saison.

Les grandes réserves temporaires, en produisant un abaissement dans la hauteur des crues, doivent concourir aussi, par cela même, à diminuer la durée des chômages que les usines subissent par les grandes eaux et à allonger la période des arrosages à eaux troubles.

Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, que les grandes réserves temporaires diminueront, à capacité égale, dans une proportion infiniment moins sensible, la hauteur des crues que les réserves permanentes n'augmenteront le débit des basses eaux.

Classification des grandes réserves d'eau de crues. — Le nombre des grandes réserves dont nous voulons parler et qu'on pourrait établir facilement dans nos montagnes est *considérable.* Ces réserves peuvent se diviser en trois classes :

1° Les réserves permanentes;

2° Les réserves temporaires;

3° Les réserves mixtes, c'est-à-dire à la fois et en partie permanentes et temporaires.

Études faites ayant pour objet l'établissement de ces réserves. — Jusqu'ici, le service hydraulique ne s'est encore spécialement occupé que des grandes réserves qu'il est possible d'établir à peu de frais, au moyen des lacs Saint-Point et Remoray et des bassins et lacs de Chaillexon, en amont du Saut du Doubs. Il a été établi pour ces réserves des avant-projets généraux que ce service doit perfectionner et compléter.

L'avant-projet relatif aux bassins et lacs de Chaillexon a été déjà l'objet d'une décision ministérielle qui en a demandé la double étude au point de vue agricole et à celui du régime général des eaux.

Ces deux réserves appartiennent à la troisième classe ci-dessus indiquée, c'est-à-dire que, dans ces vastes bassins, on pourra retenir les eaux d'une manière *permanente* à un

certain niveau, et d'une manière *temporaire* à un niveau plus élevé que le premier, et duquel on descendra aussitôt que le maximum des crues sera passé.

Pour la création de ces réservoirs on se propose d'approfondir, à l'aval, le lit du cours d'eau qui en sort, de manière que la réserve permanente se composera d'une lame d'eau ayant une épaisseur égale à la différence entre le niveau actuel des eaux ordinaires et celui qu'on obtiendra par l'approfondissement dont nous venons de parler.

Quant à la réserve temporaire, elle sera formée d'une lame d'eau, qui recouvrira sur une certaine étendue les terrains des berges riveraines, qui seront ainsi submergées momentanément pendant tout le temps de la retenue des eaux.

Nous résumons dans le tableau suivant les principales conditions de deux grandes réserves dont le service hydraulique s'est déjà occupé, et y indiquons les dépenses de leur établissement.

INDICATIONS des réserves.	CAPACITÉS. DES RÉSERVES			DÉPENSES des travaux	Observations.
	permanentes.	temporaires	TOTAL.		
	mc.	mc.	mc.	fr.	
Des lacs de Saint-Point et de Remoray.	4 927 000	45 485 000	50 412 000	325 000	(1)
Des bassins et lacs de Chaillexon.	1 000 000	16 000 000	17 000 000	100 000	

(1) Avec une augmentation de 375 000 francs dans la depense, cette réserve pourrait être de la 1re classe, c'est-à-dire uniquement permanente, ce qui serait doublement avantageux pour la régularisation du régime des eaux à l'aval, puisqu'en arrrêtant complétement pendant 14 jours les eaux du Doubs en temps de crue, on pourrait lâcher dans cette rivière un volume de 7mc. 75 par seconde, pendant 75 jours des eaux basses ; c'est une etude à faire.

Documents statistiques sur les pertes que font subir aux usines les écarts extrêmes du régime des cours d'eau qui les font mouvoir.

Pour justifier la mesure que nous venons d'indiquer, nous avons commencé à réunir les documents de la statistique des pertes que subissent les usines, par suite des chômages que leur font éprouver *les écarts extrêmes* du régime des cours d'eau du département, c'est-à-dire *les sécheresses* et *les grandes crues*.

Les éléments que nous possédons déjà sur cette matière sont encore très-incomplets; néanmoins nous allons en donner les principaux résultats.

Pertes subies par les usines pendant les basses eaux. — Presque toutes les usines éprouvent des chômages complets ou partiels par suite des basses eaux; les détails que nous avons recueillis sur les pertes qui en sont la conséquence s'appliquent à 225 usines, pour lesquelles ces pertes s'élèvent annuellement à 330 000 francs, soit en moyenne par usine environ 1 465 francs.

Le nombre des usines qui empruntent leur force motrice aux cours d'eau du département du Doubs étant de 660 environ, la perte totale, calculée d'après la moyenne ci-dessus, serait donc annuellement pour ces usines de 970 000 fr.

Pertes subies par les usines pendant les grandes eaux. — Les chômages dus aux grandes crues ne sont ni aussi prolongés ni aussi universels; mais il arrive, par contre, que ces chômages ne sont pas toujours la seule cause des pertes que supportent les usiniers, qui éprouvent souvent aussi des avaries importantes, soit dans leurs ouvrages de prises d'eau et accessoires, soit dans leurs établissements eux-mêmes.

Comme dans le cas précédent, nous ne pouvons encore tirer des documents que nous possédons une estimation assez approximative de ces deux natures de pertes, que les grandes

crues font supporter à toutes les usines du département; mais nous pouvons avancer en toute sécurité qu'elle ne s'élève pas à moins de 85 000 francs par an.

Ce serait donc, d'après les évaluations approximatives qui précèdent, plus de 1 050 000 francs de pertes annuelles qu'éprouvent les usines du Doubs par *les écarts extrêmes* du régime de nos cours d'eau.

Si nous capitalisons cette perte au denier 20, on arrive au chiffre de 20 millions de francs.

Appréciations générales de la diminution que produiraient sur ces pertes les grandes réserves permanentes et temporaires. — Eh bien! n'est-il pas hors de doute qu'en dépensant avec intelligence seulement la moitié de l'évaluation précédente pour créer des réservoirs de la nature de ceux dont nous venons de parler, on réduirait bien certainement dans *une large mesure*, si l'on ne les annihilait pas en grande partie, les pertes que subissent en ce moment nos établissements industriels par les causes que nous venons d'énumérer, surtout par les sécheresses.

Et qu'on le note bien : comme ces mêmes réserves permettraient d'étendre les irrigations sur de grandes surfaces et de régulariser les arrosages, elles seraient aussi pour l'agriculture un élément de production représentant une mieux-value déjà seule bien supérieure à la dépense (*).

Ces résultats sommaires nous permettent d'affirmer que

(*) Dans une note du 23 août 1856, voici ce que nous disions à propos du recouvrement des intérêts et de l'amortissement de cette dépense:

« On organiserait, disions-nous, des *syndicats d'usiniers* pour » concourir à la détermination des moments les plus opportuns » pour manœuvrer les vannes ou bondes de débit des eaux réservées, » et pour régler les redevances mensuelles ou annuelles dues à l'état » comme concours pour le recouvrement et l'amortissement des capitaux dépensés. »

Depuis, nous avons appris que cela se pratiquait déjà dans les Vosges, et même sans le concours de l'état, que réclament toutefois aujourd'hui les usiniers intéressés.

si le présent ne permet point encore d'entrer sérieusement et largement dans la réalisation de ces sortes d'entreprises, l'*avenir* du moins leur appartient infailliblement.

CHAPITRE TROISIÈME.

TRAVAUX ET EXPLOITATION DES ENTREPRISES D'HYDRAULIQUE USUELLE ET SITUATION DES ÉTUDES Y RELATIVES.

La plupart des questions traitées dans ce chapitre ont déjà été examinées dans nos comptes rendus antérieurs; cependant nous croyons devoir y revenir encore pour en grouper les éléments d'une manière sommaire et pour produire sur celles dont la situation a été modifiée depuis notre dernier compte-rendu les documents nouveaux qui les concernent.

1re SECTION. — DESSÉCHEMENTS, ASSAINISSEMENTS ET IRRIGATIONS.

Nous résumons tout ce que comprend cette section en quatre tableaux différents, respectivement relatifs aux entreprises exécutées, en cours d'exécution, projetées et à l'étude; on y trouvera pour chaque entreprise un exposé sommaire de ses antécédents, sa superficie, ses travaux exécutés ou à exécuter, ses résultats obtenus ou à obtenir, etc.

§ Ier. *Entreprises exécutées.*

Le tableau suivant ne présente que les entreprises *nouvellement organisées* avec le concours du service hydraulique; celles qui n'ont été que réorganisées par l'intervention de ce service, et pour lesquelles il n'y a pas eu de travanx neufs à exécuter, mais seulement d'anciens travaux à réparer, seront indiquées au chapitre V ci-après.

Tableau des entreprises de desséchement, d'assainissement et d'irrigation, exécutées ou en exploitation.

DÉSIGNATION des entreprises.	COMMUNES sur lesquelles sont situées les entreprises.	SYSTÈME administratif d'exécution et de gestion.	DURÉE de l'exécution des travaux.	SURFACE des entreprises	DÉPENSES moyennes des travaux par hectare.	PRODUITS moyens annuels par hectare.
				h. a.	fr.	
Irrigation d'Osselle.	Osselle.	Association syndicale.	1850 à 1856	38.00	435	5,000 kil. de foin (1)
Irrigation de Grandfontaine.	Grand-fontaine.	*Id.*	1854 à 1857	21.00	300	mémoire (2)
Irrigation d'Emagny.	Emagny.	*Id.*	1854	7.75	125	5,000 k. (3)
Assainissement de la prairie de Preferrue. . .	Lavernay.	*Id.*	1857	11.30	»	*Id.* (4)
Assainissement de la prairie de Cussey et Auxon-Dessous. .	Cussey et Auxon-Dessous.	*Id.*	1857	32.00	30	inconnus (5)
		A reporter.		110.05		

Observations sur les antécédents, la marche et la situation des entreprises.

(1) Travaux projetés et exécutés par le service hydraulique et association syndicale constituée par un décret, daté du 3 octobre 1851. Un décret du 30 mars 1850 a concédé à la commune une prise d'eau dans le canal. Dans le principe le périmètre de l'entreprise ne comprenait qu'une surface de 10 hectares; puis il a été augmenté successivement au fur et à mesure des ressources créées par l'association, jusqu'à embrasser la surface ci contre; mais alors la concession de 1850 n'étant plus en rapport avec cette superficie, la pénurie d'eau a rendu plus difficile la gestion des associés et leur bonne entente. Quelques contestations survenues ont été aplanies par l'intervention du service hydraulique, qui a déterminé en outre le syndicat à faire, au nom de l'association, une demande de révision du décret du 30 mars 1850 pour améliorer les conditions du débit de la prise d'eau. Cette entreprise marche bien du reste, et les résultats obtenus sont très-satisfaisants, puisque de mauvaises terres arables ont été converties en bon prés.

(2) Travaux projetés et exécutés par le service hydraulique; mais ils ont exigé une déclaration d'utilité publique préalable, ce qui a été accompli par un décret du 24 novembre 1852, constituant en même temps l'association syndicale. Le premier syndicat qui a été nommé a mal fonctionné; il a fallu en réélire un nouveau, après quoi, les travaux ont pu être adjugés et les fonds recouvrés sur les intéressés. Aujourd'hui l'entreprise fonctionne bien et les résultats paraissent devoir être satisfaisants, mais n'ont pu encore être évalués.

(3) Travaux projetés par le service hydraulique, le syndicat constitué par arrêté préfectoral du 2 février 1854 en a surveillé l'exécution; jusqu'à ce moment l'entreprise marche bien, et les résultats sont satisfaisants. Une subvention de 200 fr. a été accordée en 1857, à cette association.

(4) Travaux projetés par le service hydraulique et surveillés par le syndicat qui a été constitué le 5 juin 1855 par arrêté préfectoral. L'association fonctionne bien et les résultats sont satisfaisants; mais il serait encore nécessaire de compléter et de perfectionner les travaux exécutés. Une subvention de 150 fr. a été accordée en 1857 à cette entreprise.

(5) Travaux projetés par le service hydraulique et exécutés sous la direction du syndicat constitué par arrêté préfectoral du 12 mai 1853. Le projet des travaux comprenait ceux nécessaires à l'irrigation des terrains, mais ils ont été ajournés jusqu'à ce que le drainage de ces terrains soit réalisé. Ce drainage a été projeté avec les éléments des études primitives, par l'élève stagiaire Jean-

DÉSIGNATION des entreprises.	COMMUNES sur lesquelles sont situées les entreprises.	SYSTÈME administratif d'exécution et de gestion.	DURÉE de l'exécution des travaux.	SURFACE des entreprises	DÉPENSES moyennes des travaux par hectare.	PRODUITS moyens annuels par hectare.
				h. a.		
Report. .				110.05		
Assainissement du marais de Saône.	Saône et More.	la commune et l'état.	1853 à 1857	883.00	13	inconnus (6)
Surface des entreprises exécutées. . .				993.05		

nenot, alors sous nos ordres. Ce dernier travail est exécuté sur quelques parcelles seulement. Une subvention de 200 fr. a été accordée en 1857 à cette entreprise. La direction du syndicat s'occupe des moyens de développer et améliorer encore les résultats obtenus.

(6) Travaux projetés par le service hydraulique et exécutés en régie sous sa direction. Ils ont eu pour objet le dégorgement de l'entonnoir du Creux-sous-Roche, dans le but de faciliter l'écoulement des eaux d'inondation du Marais. L'effet obtenu a été de réduire la durée des inondations et d'en éviter quelques unes qui auraient eu lieu sans ces travaux. Il n'est guère possible d'obtenir d'autres résultats par le seul moyen du Creux-sous-Roche, où le dégagement des orifices d'évacuation est à peu près complet; mais on fait en ce moment des recherches pour trouver d'autres issues aux eaux d'inondation; c'est dans ce but qu'on exécute le dégorgement d'un autre entonnoir, près du bois du Petit-Fresne, dont il sera parlé au tableau suivant. Quoi qu'il en soit, on pourrait dès aujourd'hui exécuter les travaux d'assainissement et de drainage de la plaine; mais c'est une entreprise considérable pour l'exécution de laquelle il faudra organiser un système administratif et financier spécial, ce qui aura lieu lorsque seront terminées les expériences de drainage, qui auront pour résultat de faire connaître à l'avance les mieux values sur lesquelles on pourra compter pour cette grande opération. L'avant-projet de tous les travaux à exécuter a été préparé par nous en 1851. Il en sera rendu compte au § 3 ci-après. Les travaux du Creux-sous-Roche formaient une section de cet avant-projet. Ces mêmes travaux, pour lesquels l'État a accordé une subvention de 6 800 fr., vont être complétés en 1859 par des travaux de consolidation des parois de l'entonnoir.

Le marais de Saône occupe le fond d'un bassin très-élevé au-dessus du Doubs, fermé de toutes parts et dont les eaux n'ont d'écoulement que dans les crevasses et cavernes du calcaire oolithique.

§ II. *Entreprises en cours d'exécution.*

Tableau des entreprises de dessèchement, d'assainissement et d'irrigation en cours d'exécution.

DÉSIGNATION des entreprises.	COMMUNES sur lesquelles sont situées les entreprises.	SYSTÈME administratif d'exécution et de gestion.	COMMENCEMENT de l'exécution des travaux.	SURFACES des entreprises	DÉPENSES moyennes prévues par hectare.	MIEUX-VALUES prévues par hectare.
				h. a.	fr.	fr.
Dessèchement du marais de Vuillecin.	Vuillecin.	la commune	1853	46.30	200	1550 (1)
Dessèchement du marais de Bouverans.	Bouverans	*Id.*	1852	»	»	» (2)
Irrigation de Routelle.	Routelle.	Association syndicale.	1854	11.00	130	2180 (3)
Assainissement de la prairie de Sauley.	Chamesol.	*Id.*	1856	13.00	155	385 (4)
			A reporter.	70.30		

Observation sur les antécédents de chaque entreprise et sur la situation des travaux.

(1) Travaux projetés et piquetés sur le terrain par le service hydraulique, et exécutés sous la surveillance du maire et du curé de la commune. Les résultats déjà obtenus sont très-satisfaisants, le terrain qui était inabordable à cause de son peu de consistance s'est consolidé, et le bétail peut y être conduit sans danger pour y pâturer ; l'exploitation de la tourbe a également été rendue possible ; de telle sorte que ce marais, qui ne produisait absolument rien, donne actuellement des produits, dont la vente permet de continuer les travaux avec les fonds qui en proviennent. Aussi la commune fait-elle tous ses efforts pour conduire à bien cette utile entreprise. Elle avait sollicité une nouvelle subvention de l'État ; elle ne lui a pas été accordée.

(2) Travaux projetés et piquetés par le service hydraulique. L'exécution est dirigée par le maire de la commune, qui n'y emploie que les ouvriers nécessiteux pendant la mauvaise saison. Cette commune n'ayant pas de ressources, ne peut faire aucune avance importante pour cette entreprise, aussi n'y affecte-t-elle que les sommes qu'elle serait pour ainsi dire obligée de sacrifier en faveur des ouvriers pauvres de la commune, lorsqu'ils sont dans le besoin.

(3) Travaux projetés par le service hydraulique et exécutés sous la direction du syndicat, constitué par arrêté préfectoral du 13 janvier 1853. Cette direction ayant été mauvaise dans le principe, des difficultés surgirent et le syndicat, dans l'impossibilité de les lever, a été obligé d'ajourner l'achèvement des travaux qui restent suspendus depuis 1856. C'est une organisation à relever.

(4) Travaux projetés par le service hydraulique. Le syndicat, constitué par arrêté préfectoral du 14 septembre 1854, n'a pu vaincre les difficultés qui se sont élevées au moment de mettre la main à l'œuvre; aussi les travaux sont-ils demeurés ajournés depuis que le piquetage en a été fait en 1856, par un des employés des ponts et chaussées résidant à Montbéliard.

DÉSIGNATION des entreprises.	COMMUNES sur lesquelles sont situées les entreprises.	SYSTÈME administratif d'exécution et de gestion.	COMMENCEMENT de l'exécution des travaux.	SURFACES des entreprises	DÉPENSES moyennes prévues par hectare.	MIEUX-VALUES prévues par hectare.
				h. a.	fr.	fr.
Report. . .				70.30		
Assainissement de la prairie de Thise.	Thise.	*Id.*	1856	82.00	90	745 (5)
Écoulement des eaux du plateau de Champlive.	Champlive et Dammartin.	les communes.	1846	»	»	» (6)
		À reporter.		152.30		

(5) Travaux projetés par le service hydraulique. On n'a pu parvenir à constituer l'association syndicale pour exécuter cette entreprise. Quelques-uns des propriétaires intéressés se sont réunis en société privée pour exécuter une partie du projet, les résultats obtenus sont satisfaisants, mais très-incomplets. L'entreprise totale doit n'être considérée que comme en cours d'exécution, parce qu'elle doit être reprise, soit sur les bases primitives, soit sur d'autres bases de nature à concilier tous les intérêts.

(6) Les communes ci-contre se sont réunies pour faire exécuter une percée souterraine sous la chaîne du Lomont, afin de conduire dans le Doubs, les eaux d'inondation de leur territoire. Les travaux ont été commencés avant la création du service hydraulique et poursuivis en dehors de la direction de ce service. La percée était ouverte et les ouvrages aux abords étaient sur le point d'être achevés à la fin de 1850, lorsqu'à la suite de fortes pluies, les habitants se sont emparés des travaux avant leur achèvement et ont dirigé les eaux dans le Doubs. La rigole établie à la sortie de celle-ci, sur le revers de la côte de Laissey, n'ayant pas acquis toute la solidité qu'elle devait avoir, a été en partie détruite par les eaux qui ont en outre raviné le revers de la côte, en entraînant une certaine masse de terrain arraché à celle-ci, dans la rivière du Doubs. Les dégâts n'étaient pas, après ce premier accident, considérables, et l'on pouvait, en attendant la bonne saison pour réparer les avaries, employer un moyen d'écoulement provisoire, en substituant une conduite en bois à la partie détruite de la rigole; mais dès ce moment, les communes et les habitants s'opposèrent à toutes réparations quelconques des travaux, et poursuivirent avec opiniâtreté l'idée de faire creuser par les eaux elles-mêmes leur lit de conduite au Doubs; l'administration prescrivit alors l'établissement d'un vannage régulateur du débit de la percée, pour éviter de nouveaux ravinements dans la côte de Laissey; mais malgré l'intervention d'une commission organisée pour régler la manœuvre de la vanne et malgré l'appui de la force publique, cette manœuvre a été violentée et les eaux furent lâchées sans précaution sur le revers de la côte qu'elles ravinèrent profondément, détachant et entraînant une quantité considérable de terrain dans le Doubs. Ces fâcheux résultats de l'indisciplinable opiniâtreté des habitants, parmi lesquels se trouvaient des coupables, que le parquet n'a pu découvrir ni saisir, motivèrent la fermeture complète de la percée par un massif en maçonnerie.

Les déblais entraînés dans la rivière ont causé des dégâts sur la voie de halage et de batelage, et les ingénieurs se sont vus obligés d'assurer le service en plaçant des hausses sur le barrage d'Aigremont. Le propriétaire des moulins de Laissey, auquel ce fait portait un préjudice, attaqua les communes devant le conseil de préfecture, qui les condamna effectivement à une très-forte indemnité, qu'elles ont trouvée très-exagérée. Le conseil d'état est en ce moment saisi d'un appel contre ce jugement.

Pendant que la liquidation de ce procès et de toutes les questions accessoires qui s'y rattachent est en voie de s'opérer, l'étude du projet des ouvrages nécessaires, pour utiliser complétement la percée et celle des moyens financiers d'exécution ont été poursuivies, et en ce moment à peu près achevées, nous disons complétement parce que grâce aux ouvertures naturelles mises à découvert par la percée et par la tranchée qui la précède, les inondations ont été jusqu'ici en très-grande partie évitées et les dégâts de peu d'importance.

DÉSIGNATION des entreprises.	COMMUNES sur lesquelles sont situées les entreprises.	SYSTÈME administratif d'exécution et de gestion.	COMMENCEMENT de l'exécution des travaux.	SURFACES des entreprises	DÉPENSES moyennes prévues par hectare.	MIEUX-VALUES prévues par hectare.
				h. a.	fr.	fr.
Report. . . .				152.30		
Assainissement du marais de Saône.	Saône et Morro.	l'état	1857	»	»	» (7)
Desséchement du marais de la Cluse.	Saint-Pierre la Cluse.	concédé à une compagnie privée.	1858	38.00	»	» (8)
Surface des entreprises en cours d'exécution.				190.30		

(7) Comme nous l'avons déjà dit dans le tableau qui précède, on fait des fouilles de recherches dans un entonnoir qui se trouve près du bois du Petit-Fresne. Ces fouilles, qui s'exécutent au moyen de fonds alloués par l'état, ont pour objet de reconnaître si, dans le moment de la période décroissante des crues d'inondation du marais, le niveau des eaux dans les anfractuosités du rocher qui existe sous le sol, se maintient notablement plus bas que celui des eaux au Creux-sous-Roche, attendu que, s'il en était ainsi, on pourrait faire concourir l'entonnoir du Petit-Fresne avec celui du Creux-sous-Roche, à l'écoulement des eaux d'inondation; jusqu'à ce moment, les observations faites ne sont pas concluantes et les recherches se continuent.

(8) Cette entreprise fait partie d'un des projets compris dans l'une de nos grandes études d'ensemble, dont il sera fait mention à la seconde partie du paragraphe suivant, elle comprend un communal dont le desséchement a été, d'après nos propositions, concédé par arrêté préfectoral en date du 4 juin 1858, à une société privée qui, moyennant une jouissance de 18 années, drainera le sol, fera exécuter tous les travaux d'amendement, de culture et d'exploitation agricole, et devra à l'expiration de la concession rendre gratuitement et en plein rapport à la commune le terrain concédé. La compagnie concessionnaire doit soumettre ses projets au service hydraulique, qui demeure chargé de contrôler l'opération pendant toute la durée de la concession; mais elle n'a point encore pris de mesures actives pour l'exécution.

§ III. *Entreprises projetées.*

Outre les projets qui figurent dans les deux tableaux qui précèdent, le service en a produit un grand nombre d'autres dont l'exécution se prépare.

Il serait superflu d'entrer dans des détails sur chacun de ces projets; nous allons seulement en donner, dans les tableaux suivants, la nomenclature avec l'indication de leur situation respective, des superficies de terrains auxquelles ils s'appliquent, du montant des dépenses à faire, et enfin des mieux-values à espérer de leur exécution.

Nous ferons toutefois remarquer que ces projets doivent se diviser en deux catégories : l'une comprenant les projets particuliers étudiés d'une manière définitive et complète et qui peuvent, par conséquent, être exécutés dès que le système administratif et financier sera déterminé ; l'autre, les projets d'ensemble étudiés d'*une manière sommaire*, et qui devront être ultérieurement l'objet d'études plus complètes, comme cela a déjà eu lieu ainsi qu'il est expliqué plus loin.

1° Projets particuliers complets et définitifs.

Les dossiers de chacun de ces projets se composent :

D'un plan général ; d'un plan parcellaire sur lequel sont tracées les courbes horizontales représentant le relief du terrain ; de profils en long et en travers des canaux principaux ; d'un avant-métré et d'un détail estimatif des travaux ; lorsque ceux-ci doivent être exécutés par une association, d'un projet de statuts de cette association ; enfin d'un rapport ou exposé descriptif et indicatif résumé des avantages qui doivent résulter de son exécution.

Tableau des projets de travaux d'hydraulique agricole non encore exécutés, mais étudiés complétement sur la demande des intéressés.

INDICATION et dénomination des entreprises.	SUPERFICIE de chaque entreprise	DÉPENSES prévues	MIEUX-VALUES espérées.	OBSERVATIONS sur la situation actuelle de chaque entreprise.
	h.	fr.	fr.	
Irrigation de Saint-Vit. .	147	76 400	482 000	(1)
Irrigation du Portail-de-Roche à Osselle.	11	10 000	30 000	(2)
Irrigation de Rang.	18	15 500	44 000	(3)
Irrigation d'Avilley. . . .	23	8 400	79 000	(4)
Irrigation de Pompierre. .	22	10 000	51 000	(5)
Irrigation de Mathey et Bourguignon.	112	96 000	388 000	(6)
Irrigation de Mathey (sous Fahy).	32	8 000	80 000	(7)
Irrigation de Chamesol. .	22	3 000	23 000	(8)
Irrigation de l'Etang de Raynans.	40	4 000	99 000	(9)
Irrigation d'Appenans. .	20	300	15 000	(10)
Irrigation de Brêres et Mesmay.	16	2 300	39 000	(11)
A reporter. . .	463	233 900	1 330 000	

(1) L'exécution de cette entreprise est ajournée par suite des difficultés qui se sont rencontrées pour l'organisation du syndicat. Une tentative a été faite pour scinder l'entreprise et n'en exécuter qu'une partie ; mais jusqu'à ce jour, elle n'a pas eu de suite. C'est cependant une des opérations d'irrigation dont la réalisation produirait les plus beaux avantages aux intéressés.

(2) Celle-ci a été ajournée, mais seulement jusqu'à l'époque de la liquidation complète de l'entreprise, dite d'Osselle, portée au premier tableau ci-dessus.

(3) L'association n'ayant pas encore pu se constituer, l'opération est ajournée.

(4) L'association est organisée et une concession de prise d'eau lui a été faite le 25 août 1854 ; mais l'exécution des travaux n'est pas encore commencée.

(5) L'association est organisée depuis le 15 juin 1852; mais rien ne paraît avoir été fait pour l'exécution des travaux. On attend l'achèvement de ceux du chemin de fer pour se mettre à l'œuvre.

(6) Même observation que pour l'entreprise de Saint-Vit, sauf la tentative d'exécution partielle.

(7) *Idem.*

(8) L'association est organisée depuis le 7 septembre 1854, les travaux ont été tracés et piquetés, mais on n'a rien fait encore : il paraît que, pour lever les difficultés, il faudra faire déclarer les travaux d'utilité publique.

(9) L'association syndicale constituée le 26 août 1854, a chargé, il y a un an, l'agent voyer de diriger l'exécution des travaux. Quelques difficultés sont survenues au sujet de la répartition des dépenses et du partage des eaux ; les ingénieurs appelés à exprimer leur opinion à ce sujet ont formulé des propositions de nature à lever ces difficultés ; enfin le syndicat de l'association de Semondans, située en amont de celle de Raynans, a formé une opposition contre la prise d'eau d'irrigation sur le ruisseau qui traverse ces deux entreprises. Cette opposition a été examinée par les ingénieurs du service hydraulique qui ont reconnu l'utilité de la prise d'eau et proposé d'en faire instruire la réglementation.

(10) L'association n'est pas organisée et l'entreprise est ajournée.

(11) L'association a été constituée le 3 mai 1856 ; il paraît qu'elle n'a encore rien fait.

INDICATION et dénomination des entreprises.	SUPERFICIE de chaque entreprise.	DÉPENSES prévues.	MIEUX-VALUES espérées.	OBSERVATIONS sur la situation actuelle de chaque entreprise.
	h.	fr.	fr.	
Report.	463	233 900	1 330 000	
Assainissement de la prairie en aval de Longevelle.	51	2 500	25 000	(12)
Irrigation de St.-Maurice.	50	11 000	60 000	(13)
— de Villars. . . .	14	4 400	13 600	(13)
Irrigation et assainissement de Sourans. . . .	13	4 200	28 500	(13)
— de la grande Champagne à Colombier-Châtelot.	52	22 000	139 000	(13)
— de la petite Champagne.	36	4 500	76 000	(13)
Assainissement de Longevelle.	12	1 900	18 000	(14)
— de Lavernay. (prairie de sous-la-Velle).	15	1 300	8 300	(15)
— de Geneuille. .	83	8 000	60 000	(16)
— d'Osse.	18	3 000	13 200	(17)
— de la Grande-Oie à Doubs.	54	4 500	50 000	(18)
Assainissement et irrigation de la prairie de Lougres	15	7 600	45 800	(19)
Assainissement de la prairie Brognard	86	9 000	85 680	(20)
Totaux.	962	317 800	1 953 080	

(12) L'association, constituée le 5 juin 1855, n'a rien fait encore.

(13) Les projets de ces cinq entreprises ont été soumis, le 30 mai 1857, à l'administration supérieure, qui, le 6 mai 1858, a prescrit de les soumettre aux formalités d'enquête pour faire déclarer les travaux d'utilité publique. Ces enquêtes ont été en tous points favorables à cette mesure; mais avant d'en venir là, il était nécessaire d'appeler les intéressés à se prononcer au sujet de leur réunion en association syndicale. Cinq syndicats provisoires ont été organisés pour recueillir les adhésions des propriétaires et pour gérer leurs intérêts jusqu'à nouvel ordre.

(14) Le projet est resté entre les mains des intéressés depuis le 26 fév. 1857.

(15) L'association, qui a été organisée le 20 juillet 1857, ne paraît pas avoir mis la main à l'œuvre.

(16) Le projet, qui a été envoyé le 8 juin 1857 pour être soumis aux intéressés, n'est pas encore rentré.

(17) Les intéressés ont ce projet entre les mains depuis le 11 juin 1857.

(18) Par sa délibération du 24 janvier 1858, le conseil municipal a voté des fonds pour l'exécution, le projet définitif a été dressé par le conducteur Beurdin et le service hydraulique prend ses mesures pour l'exécution.

(19) Ce projet est soumis en ce moment aux intéressés.

(20) *Idem.*

2° Avant-projets généraux d'ensemble.

Indépendamment des projets qui figurent dans le précédent tableau et qui s'appliquent à des surfaces variables de 8 à 150 hectares, le soussigné s'est chargé, en dehors de l'intervention des ingénieurs ordinaires sous ses ordres, de quelques grands ensembles de projets de travaux d'hydraulique agricole, soit pour faire apprécier les résultats généraux du bon emploi des eaux, comme moyen d'augmenter la fortune publique en le réalisant pour tout un bassin ou partie de bassin, soit pour préparer d'avance les éléments nécessaires pour concéder, quand le moment en sera venu, de grandes entreprises de dessèchements et d'irrigations à des compagnies, soit enfin pour créer comme une pépinière d'entreprises plus ou moins importantes, susceptibles d'être exécutées isolément les unes des autres, au fur et à mesure que les bonnes dispositions des propriétaires et des communes en permettront et en faciliteront l'exécution.

Ces études d'ensemble, que nous avons fait connaître dans nos précédents comptes rendus, sont au nombre de quatre, que nous indiquons dans le tableau suivant, dans lequel nous nous contenterons d'en résumer les conditions principales.

Résumé synoptique des conditions générales des entreprises d'ensemble formulées dans autant d'avant-projets partiels et distincts.

INDICATION des grands ensembles de projets étudiés.	NOMBRE d'entreprises ou de sections comprises dans chaque ensemble.	SUPERFICIE totale de chaque ensemble de projets.	DÉPENSES des travaux.	MIEUX-VALUES espérées.	Observations.
		h.	fr.	fr.	
Aménagement et distribution des eaux du plateau de Champlive. .	10	150	105 900	377 500	(1)
Amélioration de la plaine de Saône et des bassins situés au sud-ouest	7	1 554	103 000	4 052 620	(2)
Aménagement et distribution des eaux de la partie supérieure du bassin du Doubs en amont d'Arçon.	45	5 664	5 769 000	18 198 000	(3)
Amélioration du bassin de Morteau.	Mémoire	600	Mémoire.	Mémoire.	(4)

(1) A cette entreprise se rattachera, comme partie intégrante des moyens d'évacuation des eaux de crues nuisibles quand elles surviennent pendant la végétation et avant les récoltes, l'affaire de la percée de Champlive qui figure au tableau du 2e paragraphe ci-dessus (page 325).

(2) Le résultat des essais partiels d'amélioration culturale du marais, réveillera sans aucun doute, dans un prochain avenir, les tentatives faites depuis longtemps pour exécuter en bloc cette entreprise.

(3) Cet ensemble est déjà *attaqué partiellement sur beaucoup de points*, comme il sera ci-après expliqué; les grandes entreprises partielles qui ne le sont pas donneront lieu à des associations ou à de grands syndicats, ou à des entreprises par concession.

(4) Cette étude n'a reçu par nous qu'un commencement d'élaboration; les projets sommaires, déjà approuvés dans leur but et leur ensemble par l'administration supérieure, sont étudiés dans leurs détails par l'ingénieur ordinaire, et seront incessamment produits en ce qui concerne d'abord la retenue mobile à exécuter à l'aval des lacs de Chaillexon au Tracoulot.

Ajoutons quelques mots aux indications de ce tableau : Dans la *première* étude se trouve la partie des territoires de Champlive et de Dammartin que la percée dont il a eté parlé plus haut a pour objet de soustraire aux inondations. Cette percée sera d'ailleurs très-utile pour maîtriser les eaux de l'ensemble du bassin.

Le projet d'assainissement d'Osse, qui figure dans le tableau du paragraphe précédent (p. 329), fait également partie de ce même ensemble et a été demandé par la commune à la suite de l'enquête ouverte sur notre projet général sommaire.

Cette enquête, où les combinaisons proposées ont été approuvées à l'unanimité, a fait connaître que les intéressés n'attendaient que le moment favorable pour réaliser les mesures que nous avions projetées; mais diverses circonstances y ont mis obstacle jusqu'ici.

La *seconde* étude comprend l'assainissement de la plaine de Saône, dont nous avons parlé aux paragraphes des travaux exécutés et en cours d'exécution.

Plusieurs des avant-projets des entreprises particulières dont se compose le dossier de la *troisième* étude du tableau ont été soumis aux communes et aux particuliers intéressés; voici les résultats de cette communication :

Marais de Vaux. La commune a demandé le projet définitif du desséchement et de l'irrigation d'une partie de ce marais et y a fait déjà exécuter, à titre d'expérience, un spécimen de drainage.

Ce projet figure dans le paragraphe suivant, comme étant à l'étude.

Martinet de Vaux. La production du projet de cette entreprise a été provoquée par les propriétaires intéressés, qui demandaient le curage et la régularisation du lit du Drugeon, entre Vaux et Bonnevaux, pour permettre l'assainissement des terrains riverains; mais des contestations survenues entre eux à ce sujet ont fait ajourner le travail.

La Grande-Oye. La commune de Doubs, qui possède une surface de 55 à 60 hectares dans cette entreprise, a demandé le projet définitif de l'irrigation de son terrain, projet qui figure, comme terminé, au tableau de la page 329.

Frambourg. Cette entreprise comprend le marais de la Cluse, dont le desséchement a été concédé à une compagnie, comme il a été dit plus haut. (V. au tableau, p. 326.)

Forges de Rochejean, la Rivière, les sources du Drugeon, le marais de Boujons et les usines de Boujons. Les intéressés ont demandé l'ajournement de l'exécution des travaux de ces entreprises partielles jusqu'à ce qu'ils soient en mesure d'y pourvoir.

Plusieurs autres avant-projets sont entre les mains des intéressés qui n'ont point fait connaître leurs vues ni leurs intentions.

Nous avons étudié, depuis notre dernier compte rendu, comme complément des projets d'amélioration agricole de notre *troisième* étude d'ensemble, les limonages qu'il serait possible de faire à eaux troubles par des retenues temporaires dans cette partie du bassin supérieur du Doubs, et nous avons trouvé que cette opération pouvait s'appliquer à une surface totale de 2 600 hectares environ, qui, par ce moyen, pourraient être chaque année puissamment fertilisés sans autre engrais que celui déposé par les eaux.

Nous avons voulu aussi nous rendre compte de l'effet qu'on obtiendrait sur le régime des grandes crues en pratiquant tous ces limonages en même temps, c'est-à-dire *en procédant simultanément et successivement sans désemparer, au remplissage de tous les bassins de retenue*, et nous avons trouvé qu'on pourrait arrêter ainsi toutes les eaux d'une grande crue du Doubs en amont d'Arçon, *pendant plus de neuf jours consécutifs;* c'est là un résultat à la fois curieux et important, au point de vue des moyens de maîtriser les crues.

Enfin, en ce qui concerne notre *quatrième* étude d'ensemble, dont le service est chargé par décision ministérielle de compléter les projets, elle conduira inévitablement à beaucoup d'entreprises d'hydraulique agricole du plus haut intérêt pour le bassin de Morteau, subordonnées à l'exécution des travaux d'accroissement, de débouchés et de barrage régulateur à exécuter à l'aval de ce bassin, immédiatement au-dessus du Saut-du-Doubs, travaux dont le projet figure au tableau qui va suivre.

§ IV. *Entreprises en projets plus ou moins avancées.*

Tableau de ces entreprises.

INDICATION et dénomination des entreprises.	SUPERFICIE des entreprises.	OBSERVATIONS.
	h.	
Dessèchement et irrigation du marais de Vaux.	68	Cette entreprise fait partie de notre 3ᵉ étude générale de projet d'ensemble dont il a été fait mention à la 2ᵉ partie du paragraphe précédent (page 332). Les études de ce projet sont fort avancées, et dans peu de temps nous serons en mesure d'appeler les intéressés à se constituer en syndicat pour exécuter les travaux.
Barrage régulateur au Tracoulot. pour l'amélioration de la plaine de Morteau. .	400	Les travaux dont il s'agit ici doivent avoir pour résultat de faciliter l'amélioration de la plaine de Morteau, en réduisant la fréquence et la hauteur des inondations de cette plaine par l'élargissement de l'étranglement du lit du Doubs au Tracoulot; en permettant son assainissement par abaissement du niveau des eaux de la rivière; en rendant possible, à volonté, son colmatage à eaux troubles, par un exhaussement artificiel du niveau des eaux de crues, et enfin en lui restituant, à temps opportun, par un relèvement des basses eaux, l'humidité dont le terrain pourrait avoir besoin. Les travaux du Tracoulot seront exécutés par l'État et avec une subvention de 33000 fr. déjà votée par les communes intéressées. Les travaux complémentaires dans la plaine seront exécutés par les propriétaires réunis en syndicat. L'amélioration de la plaine dont il s'agit, a fait l'objet de notre dernière étude d'ensemble qui figure dans la 2ᵉ partie du paragraphe qui précède (page 333).
Assainissement du canton de Glainans à Mandeure.. .	25	Les études de ce projet sont très-avancées, et dans peu les propriétaires pourront être appelés à s'organiser en syndicat pour exécuter les travaux.
Irrigation de la prairie de Seloncourt. .	30	*Idem.*
Assainissement de la prairie de Thurey. .	17	*Idem.*
Amélioration de la vallée de la Ranceuse.	150	Les études de ce projet, qui s'étend sur les territoires de cinq communes, ont été commencées par M. l'ingénieur Maurel, qui était alors chargé du service ordinaire de l'arrondissement du Nord; cet ingénieur devenu ingénieur en chef, ne pouvait plus continuer ces études. Elles sont reprises par l'ingénieur ordinaire du service hydraulique.
Total. . . .	690	

Un grand nombre d'autres projets, dont il serait utile que le service s'occupât, seront successivement entrepris dans leur ordre d'utilité et de chance de réalisation ; mais la pénurie du personnel n'ayant pas permis jusqu'ici d'en prendre l'initiative, force a été de s'en tenir aux projets *demandés avec instance par les intéressés*, qui ont voté des fonds pour concourir aux frais des études. Tous ceux que nous venons de mentionner sont dans cette catégorie.

Nous allons maintenant récapituler les surfaces des entreprises particulières mentionnées dans les quatre paragraphes qui précèdent, en n'y comprenant pas les surfaces de nos grandes études de projets d'ensemble, qui doivent ultérieurement faire l'objet d'études particulières et de détails avant d'en arriver à l'exécution, ou être concédées à des compagnies.

Résumé général des quatre paragraphes qui précèdent.

	hect.
1° Entreprises exécutées	993.00
3° Entreprises en cours d'exécution	190 30
3° Entreprises dont l'exécution se prépare, .	962.00
4° Entreprises à l'étude ou à projeter	690.00
Total général	2 835.30

2° SECTION. — CURAGE DES RUISSEAUX.

Observations générales sur l'opération, les effets et les résultats des curages.

Lorsque les pluies surviennent et font succéder aux basses eaux des crues plus ou moins importantes, celles-ci ne se font point encore sentir dans les grandes rivières.

Les étangs, les réservoirs, les marais, les bas-fonds, les fossés d'assainissement, les ruisseaux et les petites rivières retiennent d'abord, non-seulement dans leur lit tout le volume d'eau qu'il peut contenir, mais de plus un volume considérable qui est absorbé par le sol riverain, jusqu'au

niveau que prend l'eau sur leur berge; et enfin superficiellement dans les parties basses et planes des vallées, lorsqu'il se trouve à l'aval soit des étranglements naturels, soit des encombrements de matières charriées par les crues, ou de végétations aquatiques qui croissent dans les eaux stagnantes.

Suppression des moyens naturels de retenue des eaux de pluie. — Curer les étangs, les ruisseaux et les rivières, détruire les étranglements de leur lit, c'est donc supprimer radicalement toutes les réserves naturelles qui se remplissent d'eau au moment des crues, ce qui quelquefois suffit pour annihiler l'influence des pluies sur le régime des rivières principales.

Accroissement de la vitesse d'écoulement des eaux. — Et comme ces curages ne peuvent se faire qu'en régularisant et en augmentant la pente de leur lit, souvent en élargissant et en redressant ce dernier, il se produit, outre les suppressions des réserves naturelles qui viennent d'être signalées, une accélération considérable dans la marche des eaux.

Si ces mêmes travaux de curage sont exécutés sur des superficies plus ou moins considérables à sous-sol imperméable, s'ils s'étendent sur de grandes propriétés, sur de grandes forêts, sur de vastes étendues de territoire enfin, la vitesse de l'écoulement des eaux peut en recevoir un accroissement tellement sensible que les cours d'eau deviennent torrentiels, et que le déversement simultané de leurs crues, rapidement accumulé sans temps d'arrêt sur les territoires inférieurs où la pente est presque nulle, peut venir y causer de très-grands dommages.

Inconvénients et avantages des curages sur une grande échelle. — Enfin, le résultat de ces sortes d'opérations sur des terrains perméables est de diminuer, par la rapidité de l'écoulement superficiel, d'une part l'évaporation des eaux de pluie, d'autre part la proportion de celles qu'absorbe le sous-sol, et qui non-seulement fournit l'humidité

nécessaire à la végétation, mais encore entretient le débit des sources voisines pendant la saison des chaleurs.

S'il y a de grands avantages palpables dans l'exécution de ces travaux de curage et de redressements, il est donc incontestable qu'il *peut en résulter une aussi grave et funeste influence* sur le *régime des rivières* et sur la *sécurité des cultures* en aval.

Les avantages palpables, évidents, actuels, consistent en ce que les plaines insalubres cessent de causer des maladies aux populations qui les habitent; d'improductives qu'elles étaient, les cultures fourragères ou arables deviennent fertiles, parce qu'elles cessent d'être noyées dans les eaux stagnantes, et acquièrent une sécurité qu'elles n'avaient pas lorsqu'elles étaient exposées, pendant la période de la végétation ou des récoltes, à être fréquemment couvertes par les eaux aux moindres crues.

Et comme ces avantages sont *directs* et *immédiats*, que les dangers que nous venons de signaler sont plus indirects et plus éventuels, il n'est pas étonnant qu'on ne tienne pas compte de ceux-ci et qu'on ne s'occupe tout d'abord que de ceux-là.

Cependant, dans la plupart des cas, on *perd un avantage énorme en supprimant d'une manière radicale les inondations des terrains riverains et en ne réservant pas, au contraire, la possibilité de les produire à volonté et à temps opportun pour amener sur les terres un limon fertilisant.*

Nous en avons de nombreux exemples, et l'on pourrait dire qu'il n'est presque pas de terres inondées dans la saison morte où l'on ne s'aperçoive, lorsque ces inondations n'ont pas lieu, d'une diminution notable dans les produits.

Il n'y a plus rien en cela d'étonnant, dès que l'on a constaté que dans les parties basses des vallées il existe des couches de limon déposé par les eaux de crue, qui quelquefois ont plusieurs mètres d'épaisseur, et que la composition de ce limon est telle qu'il suffit d'en répandre sur le sol

une très-mince épaisseur pour y porter la fertilité. C'est ainsi que sur les bords du Doubs, à l'aval de Dôle et de la Loue, à l'aval d'Arc-et-Senans, on remarque le long des berges des couches très-épaisses d'une terre limoneuse très-productive.

Mesures à prendre pour éviter les inconvénients des curages. — La véritable solution du problème consisterait donc :

D'une part, à créer pour les eaux de crue de puissants moyens de les écouler lorsqu'elles pourraient inonder les terrains riverains pendant la saison des cultures ; de diminuer en même temps, s'il est possible, la hauteur de ces crues, et de se défendre enfin contre les débordements fréquents qui se produisent pendant cette saison ;

D'autre part, au contraire, à se réserver la possibilité de maintenir, régulariser, maîtriser l'écoulement des eaux de crue, de manière à provoquer au besoin et à volonté des débordements d'eaux tranquilles pendant la saison morte, où ces débordements ne seraient que favorables pour la fertilité du sol.

On voit, d'après ce qui précède, que le *curage seul d'un cours d'eau est une mesure incomplète* dont on n'aperçoit de prime abord que les avantages, sans en prévoir les inconvénients, et qu'à la rigueur le service qui est chargé du régime des eaux doit se préoccuper des conséquences de cette opération ; qu'ainsi il a le droit d'intervenir, soit pour en modérer l'extension, s'il y a lieu, soit pour prescrire, lors de l'exécution des travaux, les ouvrages complémentaires nécessaires pour se réserver les moyens de retenir les eaux, dont on ne peut plus être maître, après que les curages et les redressements ont été exécutés.

Intervention du service des inondations dans la question des curages. — Toutefois, comme on ne s'est jusqu'à présent préoccupé que des inondations *des grandes vallées*, et qu'il est admis jusqu'ici, à ce point de vue, que les crues de la rivière du Doubs arrivent et passent à son embouchure

avant celles de la Saône supérieure, et qu'il n'y a pas lieu de modifier ce fait, ou qu'il n'est pas démontré que les modifications qui pourraient résulter des curages soient défavorables au régime de cette grande rivière, le service des inondations n'a pas cru devoir intervenir pour empêcher ou pour modérer les curages des petits affluents de cette rivière ni pour proposer de compléter ces travaux par des ouvrages propres à maîtriser le mouvement des eaux.

Au fur et à mesure que l'action connexe du service hydraulique par département et celle du service général par bassin du régime des eaux s'étendra sur les petits affluents, comme l'a prescrit Sa Majesté dans sa lettre du 19 juillet 1856, les solutions présentées pour le régime et l'emploi même des plus petits cours d'eau seront contrôlées, et les projets de curages complétés au point de vue que nous venons d'envisager, et ce sera sans contredit au grand profit de l'agriculture et de l'industrie !

Mesures à prendre en ce qui concerne les opérations des curages à exécuter. — Pour arriver à ce but comme nous l'entendons, il sera nécessaire que chaque vallon au fond duquel coule un ruisseau soit divisé en sections comprises entre des points fixes, tels que des chemins, des ponts, etc.; que pour chaque section un projet complet soit rédigé et comprenne dans son ensemble les travaux de curage, de redressement, de fixation du fond et des rives du ruisseau, de petites digues là où elles seraient nécessaires, de retenues fixes et mobiles, d'irrigations réglementées, de limonage, etc., etc.; et enfin que tout cet ensemble de travaux soit exécuté par des sociétés de propriétaires organisés en syndicat.

Mais dans l'impossibilité où l'on se trouve aujourd'hui de procéder d'une manière aussi complète, il est nécessaire, pour ne pas entraver toute espèce d'amélioration, d'*aller au plus urgent* et de réglementer le mieux possible l'exécution des seuls travaux de curage, alors même qu'on

reviendrait un jour, et probablement à plusieurs reprises, sur cette manière de procéder et sur les conditions admises pour cette opération.

Jusque-là donc, l'administration ne peut qu'encourager, au lieu de s'y opposer, les simples opérations de curage et de redressement des cours d'eau, sous la seule réserve de ne rien laisser faire qui puisse empêcher ou gêner l'application ultérieure des moyens qui auront pour but soit de prévenir les inondations des cultures, pendant la saison de la végétation, soit, au contraire, de les provoquer pendant les saisons mortes, c'est-à-dire et en général aux époques où elles sont favorables à l'agriculture.

Sous le bénéfice de ces réserves nous activerons donc, autant qu'il nous sera possible de le faire, les opérations de curage et de redressement.

Nous allons maintenant rendre compte de la situation de cette branche du service.

Intervention du service hydraulique dans les questions de curage. — Le service hydraulique n'est intervenu jusqu'à ce jour que pour contrôler et examiner les projets de curages, rédiger et proposer des arrêtés, des règlements, et donner son avis sur les réclamations que soulèvent fréquemment l'exécution des travaux, le payement et la répartition des dépenses.

C'est ainsi que pendant le dernier exercice, bon nombre de questions de ce genre ont été soumises à son examen, et qu'il a son avis et ses propositions à produire en ce moment, au sujet de plusieurs autres affaires de même nature.

Compte-rendu des curages exécutés et situation des travaux. — Le service vicinal a été jusqu'ici le plus souvent chargé de la préparation des projets et de leur exécution; nous allons en faire connaître d'une manière sommaire l'importance et les résultats, d'après les rapports des agents-voyers d'arrondissement.

Arrondissement de Besançon. — Des curages de ruisseaux dans cet arrondissement ont été exécutés sur le territoire de vingt-neuf communes, et quatre-vingt-quinze cours d'eau plus ou moins importants ont été curés sur la totalité ou sur une partie seulement de leur longueur.

La longueur totale du lit des cours d'eau où cette opération a été faite est de 97 859 mètres, et la dépense des travaux a été évaluée à 68 473 francs, c'est-à-dire à 0f.70 par mètre courant.

Quelques-uns de ces travaux ont été exécutés par adjudication, mais la majeure partie l'a été par les propriétaires riverains.

Dans quelques communes les deux modes d'exécution ont été appliqués concurremment.

Des projets de curage sont élaborés pour le curage de dix-huit cours d'eau traversant le territoire de cinq communes.

La longueur des cours d'eau auxquels s'appliquent ces projets a un développement de 26 288 mètres, et la dépense des travaux est estimée 28 255 francs, c'est-à-dire 1f.07 en moyenne par mètre courant.

Enfin, sept autres projets sont à l'étude.

L'opération du curage a été particulièrement appliquée dans les cantons de Quingey et d'Audeux. La longueur de lit curé dans ces deux cantons est de 71 987 mètres, et la dépense s'est élevée à 59 824 francs, c'est-à-dire 0f.83 par mètre courant.

Arrondissement de Baume. — Pour cet arrondissement, nous ne possédons que le rapport de M. le sous-préfet, dans lequel on ne trouve pas de détails aussi étendus que dans celui de l'agent-voyer-chef de Besançon; néanmoins, à l'aide de ce document, on peut constater qu'une longueur totale de 12 133 mètres de lit de ruisseau a été curée pour 12 328f.21, soit 1f,02 par mètre courant.

Divers projets de curage sont étudiés ou en cours d'é-

tude dans cet arrondissement; mais les données manquent encore pour en donner un résumé.

Arrondissement de Montbéliard. — Il y a dans cet arrondissement (non compris un fossé d'assainissement exécuté dans la commune de Mathay sur une longueur de 1 478 mèt., moyennant une dépense de 1 059f.86) une longueur de lit de cours d'eau curée de 44 193 mètres, moyennant une dépense de 21 308f.04, soit 0f.48 par mètre courant.

Comme dans les précédents arrondissements, d'autres travaux sont projetés ou en cours d'étude.

Arrondissement de Pontarlier. — Dans cet arrondissement, l'opération des curages n'a pas encore reçu d'application ; les populations y sont, dit l'agent-voyer, généralement peu disposées ; cependant plusieurs projets sont dressés et on en espère l'exécution prochaine.

Récapitulation générale des curages effectués dans le département. — Récapitulant les résultats obtenus dans le département, nous trouvons que les curages ont été opérés sur une longueur de 154 185 mètres et que la dépense totale s'est élevée à 102 109f.25, ce qui donne, en moyenne, une dépense de 0f.66 par mètre courant.

Voilà assurément un résultat déjà fort important et qui permet d'en espérer d'autres pour l'avenir. Les anciens édits de 1657 et 1662, qui mettent l'administration à même de faire procéder à tous les curages à vieux fonds et à vieilles rives par des mesures au besoin coercitives et très-énergiques, ont beaucoup facilité l'exécution de ces premiers travaux.

3ᵉ SECTION. — DRAINAGE.

Objet du drainage.

Le drainage est un moyen d'assainir les terres, et par conséquent de les rendre plus fertiles par des procédés, sinon nouveaux, du moins très-perfectionnés, et surtout mieux analysés et mieux définis dans leur but et dans leurs résultats.

L'emploi de ce moyen permet d'abaisser de plus de $0^m.80$ à 1 mètre le niveau des eaux dans les terrains assainis, en supprimant les petites rigoles à ciel ouvert qu'on employait naguère, et qui se trouvent remplacées par des tuyaux cachés sous le sol, n'apportant aucune entrave aux opérations de culture et de défruitement.

Première intervention du service hydraulique dans la question du drainage. — L'intervention du service hydraulique dans la question du drainage dans le Doubs date de notre proposition, du 12 août 1854, de solliciter du conseil général le vote d'un crédit pour procéder à un essai de drainage au compte du département, proposition que M. le préfet ne crut pas devoir admettre alors, en raison de la pénurie des ressources départementales, mais qui fut reprise par ce magistrat en 1855, lorsqu'une allocation de 1 500 fr. fut accordée par l'État pour encourager ce genre d'opération.

Obstacles à la généralisation du drainage. — La tendance des populations dans ce département, portées moins qu'ailleurs peut-être aux innovations, à ne pas accueillir facilement les inventions nouvelles, la pénurie des ressources de l'épargne et sa tendance à un emploi plutôt industriel et commercial qu'agricole, sont des obstacles à la propagation des nouveaux procédés de l'agriculture.

On comprend donc qu'il faille relativement plus d'efforts dans ce département que dans d'autres pour propager l'ap-

plication du drainage et y obtenir des résultats moins sensibles.

C'est pour ce motif qu'il était nécessaire de prendre activement l'initiative des mesures dont nous allons rendre compte.

§ 1er. *Mesures prises dans le département du Doubs pour faire connaître et encourager le drainage.*

1° Premier spécimen et essai.

La manière la plus énergique de faire connaître un procédé et ses résultats, c'est de parler aux yeux par des faits.

Un des premiers actes de ce genre, émanant du service hydraulique, a été de mettre sous les yeux du public qui assistait au concours régional de 1856, et qui a paru s'intéresser vivement à cette exhibition, un petit spécimen de drainage avec une machine à fabriquer des tuyaux, une collection de ceux-ci et des outils de drainage.

2° Essais et expérience du marais de Saône.

Objet de ces essais. — Déjà deux essais de drainage avaient alors été, l'un exécuté, l'autre commencé au marais de Saône, au moyen des fonds alloués par l'État.

L'un de ces essais a pour objet de faire ressortir les effets du drainage sur les terrains marécageux, et les procédés d'amendement et de culture à appliquer aux terrains drainés.

Il s'étend sur une surface de $2^h.50$ d'un mauvais terrain, évalué au grand maximum 400 francs l'hectare.

L'autre, qui est appliqué à une surface de 2 hectares, a pour but principal de faire reconnaître le parti que l'on peut tirer des mêmes terrains, alors qu'ils sont exposés, comme ceux de la plaine de Saône, à des inondations plus ou moins prolongées.

3° Drainage exécuté près des moulins de Saône.

Exécution des travaux de drainage. — Le premier de ces essais a eu lieu près des moulins de Saône (moulins Convers). Le drainage, qui a parfaitement réussi, a été commencé dans les premiers mois de 1855 et terminé dans le courant de juillet suivant.

Les travaux ont été surveillés par M. Jeannenot fils, élève stagiaire, d'une instruction solide, d'une aptitude pratique remarquable et qui avait été mis, sur notre demande, à notre disposition pendant les deux années de son stage (1855 et 1856).

De nombreux propriétaires et la Société d'agriculture du département ont suivi avec un vif intérêt cette première opération et l'ont visitée pendant l'exécution pour recevoir les explications qui leur ont été données sur place et, après l'achèvement des travaux, pour en apprécier les résultats, qui frappaient d'autant mieux ces nombreux visiteurs que ceux-ci pouvaient comparer l'état de la surface drainée avec une surface voisine, conservée à dessein dans son état de marécage et d'infertilité.

Amendements et culture des terrains drainés. — Pour compléter l'opération, il fallait appliquer à la surface drainée divers systèmes d'amendement (écobuage, marnage et chaulage combinés), puis la livrer à une culture de céréales et de plantes sarclées pour la convertir en prairie.

Ces opérations, qui sont aujourd'hui complétement terminées et qui comprenaient aussi une fumure abondante du sol, ont été réalisées non-seulement sur les 2 hectares drainés, mais encore sur un demi-hectare non drainé, et d'après un plan de culture dressé à la date du 1er mars 1855, ont donné le moyen de se rendre compte *de visu* et par comparaison des effets produits et des résultats obtenus.

Dépenses de ce premier essai. — Voici le résumé des dépenses faites :

Elles se sont élevées, depuis le 1er mai 1855 jusqu'au 31 décembre 1858, date de l'achèvement définitif de l'opération, à 4275f.25, se répartissant ainsi qu'il suit :

Drainage de 2 hectares (dressé du projet, fourniture de tuyaux, acquisition d'outils, creusage et remplissage des drains, pose des tuyaux, etc.)	840.29
Écobuage de 1 hect. (enlèvement des gazons, fourniture des fagots, calcination des mottes, épandage des cendres, etc.)	220 70
Chaulage de 1h.21 (cuisson, transport et emploi de 32me.25 de chaux)	440.37
Marnage d'une même surface (extraction, transport et emploi de 100 mètres cubes de marne)	670.00
Fumure de 2h.50 (fourniture, transport et emploi de 75 mètres cubes de fumier pris à Besançon)	672.84
Semis pendant les années 1856, 1857 et 1858 de la même surface (fourniture et emploi de semences d'avoine, de pommes de terre, de betteraves, de navets, de plantes fourragères, etc.)	339.50
Travaux de culture sur la même surface pendant les années 1855, 1856, 1857 et 1858 (labours, hersages, binages, sarclages, etc.)	1 091.55
Total pareil	4 275.25

Ces dépenses sont considérables, comparativement à ce que coûtent actuellement les travaux analogues qu'on exécute aujourd'hui sur d'autres points du département, mais alors nous n'avions pas d'ouvriers formés pour le drainage et l'écobuage; il a fallu faire cuire exprès la chaux employée, aller à une distance très-éloignée extraire la marne utilisée, se procurer à Besançon même les fumiers et les semences, et les payer fort cher, de sorte qu'évidemment un agriculteur, travaillant pour son compte avec ses ouvriers, son train de culture, eût infiniment moins dépensé; notons que la multiplicité des moyens d'amendements sur les diverses parties du sol, en morcelant le travail, en a élevé encore le prix de revient.

Et cependant, dans ces conditions très-onéreuses, l'opération a encore été très-lucrative !

Produits obtenus sur ce premier essai. — En 1856, nos $2^h.50$ ont été semés en avoine; malheureusement une inondation de la plaine, survenue après la semence, a détruit celle-ci sur les trois cinquièmes de sa surface, cependant

l'avoine récoltée sur la partie plus ou moins préservée a été vendue.		fr. 110.00
En 1857, la même surface a été cultivée en plantes sarclées (pommes de terre, betteraves, etc.).		
Les produits obtenus (*) ont été vendus. . .		208.00
En 1858 les graines fourragères ont été semées avec une avoine, et quoique celle-ci n'ait été semée qu'avec le demi de graines qu'on emploie habituellement, elle s'est trouvée très-épaisse. Les tiges ont atteint 1 mètre et jusqu'à $1^m.50$ de hauteur ; la récolte a donc été très-belle, aussi a-t-elle été vendue. . .	fr. 955.00	
Sur une petite partie de la surface, l'avoine avait été remplacée par un blé printanier dont la récolte a été vendue.	45.00	
Enfin, les plantes fourragères s'étant développées après les moissons, ont donné un regain qui a été vendu	58.50	
De sorte que les produits de 1859 se sont élevés à.	1 058.50	1 058.50
A reporter.		1 376.50

(*) Une sécheresse survenue à l'époque de la germination des graines de betteraves a détruit la plus grande partie de celles-ci, aussi les produits en betteraves ont été très-peu importants; mais ce qui en a été conservé a parfaitement réussi. Il eût été mieux au lieu de graines d'employer des plants tirés du pays bas.

	fr.	fr.
Report.		1 376.50
En 1859, la surface se trouve convertie en prés donnant déjà des produits; la première coupe a été vendue.	201.00	
On espère pouvoir faire encore deux autres coupes de regain, qui sont estimées	299.00	
La récolte de cette dernière année pourrra donc atteindre la valeur de	500.00	500.00
Ce qui portera les produits des quatre années dont nous venons de parler à une valeur totale de.		1 876.50
Soit en moyenne chaque année.		469.12

Observations générales sur ce premier essai. — Nous avons

	fr.
dit que les dépenses faites s'élevaient jusqu'à ce jour à.	4275.25
Ajoutons à cette somme la valeur du sol, soit	1 000.00
Le capital engagé est donc de.	5 275.25

D'où il résulte que les produits obtenus ont donné pour ce capital un revenu de 8.90 p. 100 *pendant la période d'essai!*

Résultats au point de vue financier. — C'est donc, ainsi que nous le disions plus haut, une excellente affaire, malgré le chiffre élevé des dépenses. Rappelons que cette expérience est comparative, c'est-à-dire que les procédés d'amendement et de culture ont été appliqués de la même manière sur 2 hectares drainés et sur un demi-hectare non drainé, et que la différence dans les produits de ces deux surfaces, qui a toujours été très-sensible *chaque année*, a fait ressortir d'une manière évidente les effets du drainage et des amendements du sol.

Ce mode expérimental a donc parfaitement rempli son but, tout en donnant des bénéfices très-satisfaisants.

4° Drainage exécuté au centre du marais.

Exécution des travaux de drainage, d'amendement et de culture. — Le drainage de ce second essai a été exécuté en 1856; mais les opérations d'amendements et de culture n'ont été commencées qu'en 1858.

Il n'a été pratiqué que sur 1h.50, l'autre demi-hectare a été conservé dans son ancien état; mais sur deux côtés se trouvent les drains de ceinture de la partie drainée et sur les deux autres le fossé qui enveloppe toute la surface soumise à l'expérience, de sorte que cette dernière partie est, par le fait, déjà bien assainie.

Pour un tiers de la surface drainée, les drains ont un écartement de 10 mètres; sur le second tiers, cet écartement est de 12 mètres, enfin cet écartement a été porté à 20 mètres pour le dernier tiers.

Les travaux d'amendement et de culture déjà réalisés comprennent :

L'écobuage de 1h.50, le chaulage de 0h.75, le marnage d'une même surface, l'emploi de cendre de tourbe et de boue de route sur 0h.50; enfin, en 1859, les 1h.50 ont été labourés et ensemencés en céréales (blé et avoine) mélangées de graines fourragères, et le demi-hectare restant a été maintenu dans son ancien état de prairie naturelle ou plutôt de mauvais pâturage.

Dépenses faites et à faire jusqu'à la fin de 1859. — Les dépenses faites jusqu'à la fin de 1858, en y comprenant une somme de 500 francs environ, pour l'établissement d'un fossé de ceinture et d'une barrière autour

	fr.	c.
de la parcelle, s'élèvent à.	1 739	50
Les dépenses faites ou à faire en 1859 s'élèveront environ à.	200	00
Ce qui portera la dépense à la fin de cette dernière année à	1 939	50

Produits obtenus ou à obtenir jusqu'à la fin de 1859. — Sur la partie du terrain laissée dans son état primitif de culture, le drainage a déjà modifié et amélioré la nature des plantes fourragères, de telle sorte que ce demi-hectare a donné, en 1859, une première coupe de foin qui a été vendue. . . . . fr. 68.00

Le regain qu'on peut encore obtenir sur cette même surface est estimé. 12.00

Enfin on espère pouvoir vendre la récolte des céréales la somme de. 400.00

Les produits de 1859 pourront donc valoir. . 480.00

Observations générales sur ce second essai. — Nous ne terminerons pas le compte-rendu de ce second essai sans faire remarquer que les dépenses sont notablement moins élevées que pour le premier. Cela tient à ce que, d'une part, les opérations d'amendement et de culture n'ont pas été réalisées d'une manière ni aussi complète ni aussi parfaite, et qu'on s'est attaché, au contraire, à se rapprocher davantage des conditions ordinaires de la pratique de ces sortes d'opérations.

Et à ce que, d'autre part, on avait à sa disposition des outils et des ouvriers tout formés.

Enfin, nous ferons remarquer qu'on peut considérer le terrain soumis à l'essai comme converti en bonne prairie, et si maintenant il survient une inondation de la plaine de Saône, on sera en mesure d'apprécier l'influence du séjour plus ou moins prolongé des eaux sur les plantes fourragères semées sur ce terrain.

5° Autres expériences de drainage.

Nous avons provoqué, sur différents points du département où le drainage était resté sans application, divers essais pour propager cet utile procédé.

Quelques communes ont voté des fonds et réalisé ces essais sur leur territoire; ce sont :

1° La commune de Pontarlier, qui a fait exécuter le drainage de 2 hectares au lieu dit l'Étang. Cet essai a pleinement réussi et a déjà donné de bons résultats.

2° La commune de Frasne, qui a fait dresser un projet pour 4 hectares et a fait exécuter les travaux sur 1h.20.

3° La commune de Vaux, qui a fait drainer 1 hectare du marais qu'il s'agit d'assainir, ainsi qu'il a été dit plus haut.

Les projets de ces essais ont été dressés sous notre contrôle en 1857 et exécutés par le conducteur chargé du service ordinaire de l'arrondissement du Sud.

On verra plus loin que quelques autres drainages ont été encore exécutés spontanément sur quelques points du département par des communes désireuses de propager ce procédé par un exemple.

Il en a été de même de quelques propriétaires, qui ont pris la louable initiative de faire dans leurs terrains des travaux du même genre et dans le même but.

Ces deux dernières séries d'opérations seront comprises dans le tableau général des drainages exécutés dans le département.

6° Sondes de drainage.

Utilité de ces sondes. — Avant d'entreprendre des travaux de drainage, il est indispensable de reconnaître par des sondages la nature du sous-sol à drainer; nous avons en conséquence demandé et obtenu l'autorisation et les fonds nécessaires pour faire établir six petites sondes, avec le matériel d'une grande sonde qui avait été accordée au département il y a trente-cinq ans pour des recherches de sel gemme (*).

(*) Les sondages préalables sont prescrits par les dernières instructions relatives à l'application de la loi du 28 mai 1858.

Lieux de dépôt des sondes de drainage. — Ces sondes sont placées, savoir :

Une au service hydraulique ;

Une dans chaque arrondissement de service d'ingénieur ordinaire à Besançon, à Montbéliard, à Pontarlier;

Une à Baume-les-Dames et une à Morteau entre les mains des conducteurs détachés dans ces localités.

Elles sont mises à la disposition des propriétaires, qui ne sont tenus que d'en faire la demande, de venir les prendre et de les rendre en bon état.

Ces sondes, quoique très-légères, suffisent pour descendre jusqu'à $6^{m}.50$ de profondeur; elles peuvent par conséquent être très-bien utilisées pour reconnaître le sous-sol, même dans les cas de perforation pour absorption verticale des eaux, ainsi que pour la recherche des marnes propres aux amendements.

7° Outils de drainage.

Utilité de ces outils. — Une autre difficulté qui, dans l'origine, faisait reculer souvent les bonnes dispositions des propriétaires, était le *manque d'outils* pour exécuter leurs travaux.

Nous avons demandé l'autorisation de faire l'acquisition de plusieurs jeux de ces outils pour les prêter gratuitement aux particuliers. Des fonds ont été à cet effet mis à notre disposition.

Lieux de dépôt des outils de drainage appartenant au département. — Le département possède ainsi en ce moment dix jeux d'outils qui sont déposés :

1° Deux jeux entre les mains de chacun des ingénieurs des trois arrondissements du service ordinaire;

2° Deux jeux entre les mains de l'ingénieur du service hydraulique ;

3° Deux jeux qui sont restés à la disposition du service central, depuis les travaux des expériences de drainage du

marais de Saône, auxquels ils ont été utilisés, et depuis confiés à des particuliers et à l'élève stagiaire Jeannenot, pour les travaux qu'il a dirigés librement à la fin de son stage.

Ces outils, qui sont mis à la disposition des propriétaires, ont aussi été prêtés comme *modèles* à divers taillandiers pour en faire de semblables.

5° Machines à fabriquer des tuyaux de drainage.

Utilité de ces machines. — La difficulté de se procurer des tuyaux et leur prix élevé étaient d'autres obstacles au développement du drainage ; il était urgent d'en encourager la fabrication sur divers points.

Nos demandes énergiques et réitérées pour obtenir des machines à fabriquer des tuyaux, appuyées vivement par M. le préfet, ont été favorablement accueillies, et nous avons obtenu successivement de l'état cinq machines (une de Bertin-Godot, une de Laurent et trois de Schlosser, exécutées et perfectionnées sous la direction de l'école des ponts et chaussées), qui ont été, sous les conditions homologuées par un arrêté préfectoral, concédées à des tuiliers.

Lieux où sont situés les centres de fabrication. — Par ce moyen, cinq centres de fabrication ont été créés, et la concurrence en a fait élever d'autres, de sorte que ces centres sont aujourd'hui au moins au nombre de sept, savoir :

1° A la tuilerie de Saint-Vit;

2° A la tuilerie de Casamène;

3° A la tuilerie de Merey-sous-Montrond.

Ces trois ateliers approvisionnent toute la vallée du Doubs, depuis Saint-Vit à Montbéliard, la vallée inférieure de l'Ognon et tout le canton de Besançon ;

4° A la tuilerie de Battant, près Quingey, pour la vallée inférieure de la Loue et le canton d'Amancey ;

5° A la tuilerie de Dambelin, pour la vallée moyenne du Doubs et les cantons de Maîche, de Pont-de-Roide et environs ;

6° A la tuilerie de Cubry, pour la vallée supérieure de l'Ognon ;

7° A la tuilerie de Gauffre, pour les environs de Pontarlier et la haute vallée du Doubs.

Les tuileries nos 1, 3, 4, 5 et 7 sont celles où fonctionnent les machines concédées.

On peut remarquer que ces dernières ont été autant que possible placées dans les contrées où le drainage est appelé à se développer sur une grande échelle.

Tous les besoins cependant ne sont pas satisfaits à de bonnes conditions ; mais pour y parvenir, une demande a été adressée à l'administration supérieure, pour obtenir encore deux nouvelles machines du système Schlosser, qui ont été accordées, l'une à la tuilerie de Saint-Hippolyte et l'autre à l'une des tuileries des environs de Morteau.

Compte rendu de la fabrication des tuyaux en 1857. — Pendant l'année 1857, plus de 356 000 tuyaux et plus de 11 000 demi-manchons ont été fabriqués par les concessionnaires de machines ; en voici le tableau :

	NOMBRE DE TUYAUX d'un diamètre de				NOMBRE de demi-manchons d'un diamètre de	
	0m.03	0m.04	0m.06	0m.10	0m.06	0m.10
Desplante, à More	68 050	9 000	5 000	2 000	»	»
Blondeau frères, à Saint-Vit	90 200	77 520	22 522	9 165	1 000	»
Borne, à la Gauffre	40 000	»	8 000	80	»	»
Ordinaire, à Palentine (1)	»	»	»	»	»	»
Rougeot frères, à Dambelin	18 000	»	7 000	»	7 500	2 800

(1) La fabrication n'a pas commencé en 1857, chez ce concessionnaire de machine.

6° Prime sur la vente des tuyaux.

Pour encourager le drainage par une réduction du prix des tuyaux, une prime de 10 francs par mille de tuyaux employés a été accordée en vertu d'un arrêté préfectoral à la date du 26 janvier 1857, à tous ceux qui exécuteraient des drainages, de sorte que les tuyaux de $0^m.03$ de diamètre intérieur, dont le prix, chez les tuiliers concessionnaires de nos machines, est fixé à 25 francs le mille, s'est trouvé réduit à 15 francs.

Application de l'arrêté préfectoral du 26 janvier 1857. — Voici le tableau des primes accordées en vertu de cet arrêté, sur un crédit de 1 600 francs, mis à cet effet à notre disposition, moitié sur les fonds de l'état, moitié sur ceux du département.

NOMS DES PROPRIÉTAIRES auxquels ont été allouées les primes.	COMMUNES où ont été employés les tuyaux.	QUANTITÉ de tuyaux employés.	MONTANT des primes accordées.
			fr.
Proudhon, Hippolyte.	Maizières.	3 300	33.00
Monnot-Arbilleur.	Mamirolle.	2 000	20.00
Martin, Auguste	Busy.	3 000	30.00
Marlet	Athose.	6 950	69.50
Lhomme.	Byans.	3 885	38.85
Mourod.	Amatey-Vésigneux. .	3 000	30.00
Maire	Geneuille.	5 214	52 14
Gavey.	Scay-en-Varais . . .	1 670	16.70
Bureau de bienfaisance de Quingey .	Quingey.	2 795	27.95
De Merode.	Maiche	12 000	120.00
Authier, Celestin	Metabief.	2 850	28.50
Faucompré.	Rigney	10 404	104 04
Ordinaire	Maizières.	4 930	49.30
Laude, juge de paix.	Pierrefontaine	10 380	103.80
Baume, Marcellin.	Busy.	1 806	18.06
Camille, Antide.	Larnod	2 076	20.76
Cuenot, Urbain.	Montrond.	5 600	56.00
Receveur, agent voyer.	Vaucluse	3 590	35.90
Janet, Hippolyte	Saint-Vit	8 000	80.00
Pontarlier, la commune	Pontarlier.	3 524	35.24
Frasne, la commune	Frasne.	2 960	29.60
Vaux, la commune.	Vaux	3 084	30.84
Mennard.	Malpas et la Planée.	2 145	21.45
Barbier.	Velesmes.	2 925	29.25
De Moustier.	Cubry.	44 732	447.32
Charnaux frères.	Oye-et-Pallet.	6 863	68.63
		159 683	1 596.83

OBSERVATIONS. — Quelques-uns de ces propriétaires ont abandonné les primes qu'ils ont reçues, soit à titre d'indemnité aux entrepreneurs du drainage, soit à titre de gratification aux agents et ouvriers, la plus forte part a été offerte au comice du canton.

7° **Personnel pour la direction des travaux.**

Les charges du service hydraulique étaient trop nombreuses pour qu'avec un personnel déjà trop restreint il pût se charger de projeter et faire exécuter tous les travaux de drainage; il fallait y suppléer et laisser d'ailleurs à chacun le choix du personnel et des moyens.

Nous avons déjà dit qu'un élève stagiaire (M. Jeannenot fils), sortant de l'école régionale de la Saulsaie, avait été attaché au département et placé sous notre direction.

Nommé sur notre proposition agent principal d'un service technique de drainage que M. le préfet s'est empressé d'organiser d'après les bases que nous avions concertées avec ce magistrat, il a rendu d'utiles services aux proprié-

taires et a très-puissamment contribué à développer rapidement l'application du drainage, dans les environs de Besançon surtout.

L'intervention des agents voyers dans les travaux d'hydraulique agricole a été réglée de la même manière, par un arrêté spécial de M. le préfet, sanctionné par l'approbation du conseil général du Doubs.

8° Formules pour les projets de drainages.

Enfin, nous avons vivement pour notre compte, et à maintes reprises, insisté pour obtenir en faveur des propriétaires la décision ministérielle du 14 juillet 1856, qui autorise les ingénieurs et les agents sous leurs ordres à s'occuper de travaux de drainage pour le compte des particuliers et règle les indemnités à leur allouer sur les fonds acccordés par l'état au service hydraulique, sous le contrôle de l'ingénieur en chef de ce service.

Afin d'abréger et de simplifier la rédaction des projets de drainage confiés à des agents si divers et d'y apporter l'uniformité désirable, nous avons rédigé et fait imprimer des formules pour ces projets.

Il y en a de deux espèces :

Première formule. — La première, qui contient le cadre d'un exposé descriptif et justificatif du projet, est applicable aux drainages de peu d'étendue que les propriétaires veulent eux-mêmes faire exécuter en régie, avec ou sans le concours d'un agent du service hydraulique.

On y trouve l'indication des facilités que l'administration offre aux propriétaires qui ont des drainages à faire exécuter, et elle se termine par une instruction sommaire sur la manière d'exécuter ces sortes de travaux.

Tout propriétaire qui aura réclamé le concours des ingénieurs et de leurs agents pour un projet de drainage y trouvera donc, non-seulement la description et la justification des disposition adoptées, l'indication et l'évaluation des

travaux, mais encore un manuel très-simple pour diriger l'exécution, s'il s'en réserve le soin.

Deuxième formule. — L'autre formule est applicable aux drainages plus importants, comprenant un nombre illimité de parcelles, et dont les travaux doivent être exécutés soit par adjudication ou soumission, soit par un traité à forfait.

Cette formule contient un devis et un cahier des charges très-détaillés; les cadres de l'avant-métré, d'une analyse et série de prix et du détail estimatif.

Il n'y avait pas nécessité d'annexer à ces cadres, comme dans la première formule, celui d'un exposé descriptif et justificatif; c'est un document qui, dans le cas de l'application de cette deuxième formule, doit être indépendant et rester entièrement à part des autres pièces du projet.

Au surplus, l'ingénieur ou l'agent qui sera chargé de les dresser trouvera dans la première formule un modèle très-simple pour le guider dans la rédaction de cet exposé.

§ II. *Drainages exécutés dans le Doubs.*

Depuis très-longtemps, surtout dans la partie montagneuse du département, les propriétaires ont assaini leurs terres au moyen de fossés remplis de pierres, et presque partout le succès a été des plus satisfaisants.

Cependant ce mode de drainage, dont les premiers rudiments remontent à 1810 (*), ne s'est que très-lentement propagé, et il faut arriver jusqu'en 1855 pour lui voir prendre un accroissement sensible. Ce n'est aussi qu'à partir de cette époque que le public s'est occupé d'une manière active et sérieuse de ce genre d'opération et que l'administration, de son côté, a pris les mesures dont nous

(*) Nous ne parlerons pas de drainages que les vignerons exécutent dès la plus haute antiquité, ces drainages sont cependant nombreux et importants; mais ils sont faits en général sur de petites superficies et sans aucune règle d'ensemble.

venons de rendre compte pour le faire connaître et en faciliter l'application.

Nous avons fait sur l'historique, les procédés et les résultats du drainage et sur l'application dans le Doubs des lois du 10 juin 1854 et des 17 juillet 1856 et 28 mai 1858, un compte rendu spécial qu'il serait trop long de reproduire ici; nous nous bornerons à en extraire quelques documents, notamment le tableau des drainages exécutés annuellement depuis 1810, présentant par conséquent l'historique du développement du procédé dans le Doubs et le tableau des drainages exécutés avec tuyaux de 1855 à 1858 inclusivement.

***Tableau des surfaces drainées annuellement dans chacun des arrondissements du Doubs de* 1810 *à* 1859.**

ARRONDISSEMENTS.	SURFACES DRAINÉES ANNUELLEMENT PENDANT						SURFACES totales drainées.	Observations.
	la période de 1810 à 1854 (*a*)	l'année de						
		1854.	1855.	1856.	1857.	1858.		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	hect.	hect.	hect.	hect.	hect.	hect.	hect.	
Besançon.	0.09	12.24	14.60	21.09	41.30	47.90	137.22	(*b*)
Baume.	0.20	0.65	3.40	5.18	6.50	25.62	41.55	
Montbéliard.	0.33	0.30	35	7.30	7.95	18.19	34.42	
Pontarlier.	0.40	1.65	1.09	2.02	8.20	7.85	21.21	
Totaux et moyennes.	1.02	14.84	19.44	35.59	63.95	99.56	234.40	

(*a*) Cette période étant de 44 ans, il en résulte que pour avoir les drainages exécutés pendant ladite période, il faut multiplier par 44 les nombres de cette colonne.

(*b*) De 1810 à 1854 exclusivement, les drainages exécutés ont été peu importants, et leur accroissement annuel n'a été ni sensible ni régulier; c'est pourquoi on ne donne dans le tableau ci-dessus, colonne 2, que la moyenne annuelle des surfaces drainées pendant cette période.

Les drainages ont été exécutés sur 137 communes par 255 propriétaires, fermiers, communes ou syndicats.

Le nombre de parcelles drainées étant de 260, la surface moyenne de ces parcelles est donc de $1^{\text{hect}}.07$.

Le drainage avec tuyaux et avec raies-pierrées ayant été respectivement appliqué à 70 et à 190 parcelles, il en résulte que la surface moyenne des parcelles drainées avec tuyaux est de $2^{\text{hect}}.16$; avec raies-pierrées elle est de $0^{\text{hect}}.67$.

Tableau indicatif des drainages avec tuyaux en poterie, exécutés soit avec le concours ou le contrôle du service hydraulique du département, soit par les agents du service vicinal, soit enfin par les particuliers eux-mêmes.

DÉSIGNATION des propriétaires auxquels appartiennent les terrains drainés.	COMMUNES où sont situés ces terrains.	SUPERFICIES drainées.	SERVICES OU AGENTS qui ont rédigé les projets et surveillé l'exécution des travaux.	Observations sur les résultats obtenus par ces drainages.
1° Drainages exécutés de 1855 à 1857.				
		hect.		
Bourgon.	Auxon-Dessous. .	5.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(1)
Madame Dromard. .	Dannemarie. . . .	1.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(2)
Pernet, Edouard. .	Lantenne	1.45	Le propriétaire	(3)
D'Orival, Charles . .	Miserey	0.70	Le propriétaire	(4)
Bourgon, Henri. .	Arcier.	2.60	Le propriétaire	(5)
Le département. . .	Saône	2.50	Le service hydraulique. . .	(6)
Monnot-Arbilleur. .	La Chevillotte. . .	1.20	L'élève stagiaire Jeannenot.	(7)
Lhomme.	Byans.	1.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(8)
Martin, Aug. et Cie.	Larnod	6 00	Le propriétaire	(9)
Le comte de Pardieu	Larnod	1.31	L'élève stagiaire Jeannenot.	(10)
Le b^on^ de Bussierre.	Roset-Fluans. . .	4.30	L'élève stagiaire Jeannenot.	(11)
Barbier, Simon. . .	Velesmes.	1.32	Le service hydraulique. . .	(12)
	A reporter.	28.38		

(1) Une partie de cette surface a été laissée en pré dont le prix annuel de location par hectare a augmenté de 35 fr. L'autre partie cultivée en blé, maïs et betteraves, donne des produits quadruples de ceux que l'on obtenait avant le drainage.

(2) Le terrain n'a été qu'un peu assaini et le rendement des produits est à peu près le même qu'avant les travaux. Ce faible résultat tient au peu de profondeur d'un bas-fond qui devait être exhaussé.

(3) Cette opération a bien réussi, le terrain a été assaini et les mauvaises plantes fourragères ont été remplacées par de bonnes, donnant d'abondants produits.

(4) Terrain marécageux avant le drainage, et aujourd'hui parfaitement assaini. Les produits, de bien meilleure qualité, ont augmenté du cinquième.

(5) Le drainage a eu pour effet de donner au sol, en l'assainissant, une consolidation qu'il n'avait pas.

(6) Expérience de drainage au marais de Saône, et dont il a été précédemment rendu compte.

(7) Cette opération avait principalement pour but de recueillir des eaux pour le besoin de la ferme. Le but a été atteint, mais la quantité est insuffisante.

(8) Mêmes observations que pour le drainage de madame Dromard.

(9) Ce drainage a eu pour effet de transformer en bons prés donnant 3 500 kilogrammes de bon foin, des terres marécageuses qui ne donnaient que 2 500 kilogrammes de mauvais fourrage; aussi ce terrain, qui n'était loué que 75 fr., se loue 130 fr. La dépense des travaux a été de 280 fr. par hectare.

(10) Les résultats ont été très satisfaisants, et la dépense de 350 fr. par hectare.

(11) Avant le drainage ce terrain ne donnait que 2 000 kilogrammes par hectare de mauvais foin, aujourd'hui il en donne 4 000 de bonne qualité. La dépense a été la même que ci-devant.

(12) Ce drainage, qui a coûté 310 fr. par hectare, a été exécuté comme exemple de propagation; le sol planté d'arbres s'est amélioré.

DÉSIGNATION des propriétaires auxquels appartiennent les terrains drainés.	COMMUNES où sont situés ces terrains.	SUPERFICIES drainées.	SERVICES OU AGENTS qui ont rédigé les projets et surveillé l'exécution des travaux.	Observations sur les résultats obtenus par ces drainages.
		hect.		
	Report.	28.38		
Janet et consorts . .	Saint-Vit	9.47	Le propriétaire.	(13)
Le vicomte de Lusy.	Vorges.	2 92	L'élève stagiaire Jeannenot.	(14)
D'Orival, Léon . . .	Châtillon-le-Duc .	2.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(15)
Pusel de Boursières.	Devecey.	4 77	L'élève stagiaire Jeannenot.	(16)
Maire, ingénieur. .	Geneuille	4.00	Service hydraulique . . .	(17)
Faucompré, L.-Aug.	Rigney.	22.50	L'élève stagiaire Jeannenot.	(18)
Tribouley, G.-Aug.	Rigney.	0.30	Le propriétaire	(19)
Ordinaire, Edouard.	Mezières.	1.58	L'élève stagiaire Jeannenot.	(20)
Le comte de Pardieu	Merey-Montrond .	7.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(21)
Javey, Jean-Antoine	Scey-en-Varais. .	1.08	Service hydraulique	(22)
Bureau de bienfaisance de Quingey.	Courcelles.	2.00	L'agent voyer de Quingey.	(23)
Bouchot, Auguste. .	Appenans.	1.84	L'élève stagiaire Jeannenot.	(24)
Laude et Cie.	Pierrefontaine . .	3.00	L'agent voyer de Pierrefontaine.	(25)
Marlet, Adolphe . .	Athose.	2.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(26)
Boillon, Victor-Eug.	Belleherbe.	1.50	Le propriétaire	(26)
De Mérode.	Maîche.	7.50	L'agent voyer de Pierrefontaine.	(27)
Masson, Aug. et Cie.	Montbéliard. . . .	1.00	Service hydraulique	(28)
La commission de l'hospice de. . . .	Montbéliard. . . .	0.81	Service hydraulique	(28)
La commune de. . .	Frasne.	1.20	Service hydraulique	(29)
	A reporter. . . .	104.85		

(13) Ces drainages ont eu pour effet d'augmenter de 25 à 50 p. 100 la quantité des produits et la qualité dans une même proportion ; de telle sorte que les terrains qui ne se louaient que 100 fr. se louent maintenant 200 fr. La dépense moyenne a été de 215 fr. par hectare.

(14) Avant le drainage le terrain ne valait pas 5 000 fr., il a été vendu depuis 8 900 fr., et la dépense a été de 760 fr.

(15) Avant le drainage le foin n'était propre qu'à faire de la litière, depuis il est de bonne qualité.

(16) Les produits ont augmenté du tiers.

(17) Le drainage a bien réussi.

(18) Les produits ont quadruplé en quantité. Les eaux sont utilisées par la ferme.

(19) Le rendement du sol est triple.

(20) Le drainage a bien réussi et l'eau est utilisée pour la ferme. La dépense a été de 400 fr. par hectare.

(21) Le terrain, acheté 300 fr. par hectare, vaut aujourd'hui plus de 1 000 fr. La dépense a été de 420 fr.

(22) Les travaux ont coûté 500 fr. par hectare ; ils ont bien réussi.

(23) Ce terrain, qui n'était qu'un pré marécageux, donne aujourd'hui d'abondantes récoltes en céréales.

(24) Avant le drainage, le terrain ne produisait qu'un mauvais fourrage et en petite quantité ; la première année après il a donné 31 hectolitres de blé.

(25) Drainage exécuté comme spécimen sur un terrain communal improductif ; actuellement il est livré à la culture des céréales et des plantes sarclées qui prospèrent bien.

(26) L'effet du drainage a été des plus satisfaisants.

(27) Le terrain était improductif ; maintenant il donne des produits d'une valeur de 500 fr. par hectare.

(28) Le drainage a donné de très-bons résultats.

(29) Ces travaux, qui ont bien réussi, ont été exécutés à titre de spécimen par la commune et il en a été précédemment rendu compte.

DÉSIGNATION des propriétaires auxquels appartiennent les terrains drainés.	COMMUNES ou sont situés ces terrains.	SUPERFICIES drainées.	SERVICES OU AGENTS qui ont rédigé les projets et surveillé l'exécution des travaux.	Observations sur les résultats obtenus par ces drainages.
		hect.		
	Report. . . .	104.85		
Raguin, Stanislas. .	Bochejean.	0.42	Le propriétaire	(30)
La commune de. . .	Vaux-et-Chantegrue.	1.00	Service hydraulique	(31)
Maire, Zephirin. . .	Villedieu.	0.80	Service hydraulique	(32)
Minard, Etienne . .	Malpas.	0.37	Service hydraulique	(32)
Minard, Etienne . .	La Planée.	0.23	Service hydraulique	(32)
La ville de.	Pontarlier.	1.46	Service hydraulique	(33)
Total des drainages exécutés avant 1858.		109.13		

2° Drainages exécutés en 1858.

Thirode et Cadoux.	Chaucenne	0.65	Le propriétaire	(34)
De Saint-Agathe et Bruand.	Chevigney.	2.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(34)
Gras, Laithier et consorts.	Morre	2.89	Les propriétaires	(34)
De Faucompré et consorts.	Lornod	1.23	L'élève stagiaire Jeannenot.	(34)
Ferdinand de Pirey.	Maizières	0.36	L'élève stagiaire Jeannenot.	(34)
Le comte de Vezet	Châtillon-Lizon. .	4.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(34)
Le comte de Pardieu	Montrond.	0.35	L'élève stagiaire Jeannenot.	(34)
Le marquis de Moustier.	Cubry	12.00	L'élève stagiaire Jeannenot.	(34)
Truchot, Nicolas. .	Bonnal.	2.07	Le propriétaire	(34)
Clerget, Nicolas . .	Dammartin	0.98	Le propriétaire.	(34)
Humbert, Antoine. .	Passonfontaine. .	0.17	Le propriétaire	(34)
Flamand, Théodore.	Dambenoit	3.50	Le propriétaire	(34)
Duvernois, maire d'Audincourt. . .	Exincourt. . . .	3.31	Service hydraulique	(34)
Ferrand, Georges. .	Grand-Charmont.	0.15	Le propriétaire	(34)
Donze, Pierre-Fréd.	Vieux-Charmont.	0.18	Le propriétaire	(34)
Receveur et Bourdon	Vaucluse	0.60	L'agent voyer de Pierrefontaine.	(34)
L'hospice civil de. .	Montbéliard. . . .	0.75	Service hydraulique	(34)
Charnaux frères. . .	Oye-et-Pallet. . .	3.11	Service hydraulique	(34)
Totaux des drainages exécutés avec tuyaux en 1858.		38.33		
Les drainages de 1855 à 1858 étant de		109.13		
La surface drainée avec tuyaux pendant ces quatre dernières années est donc de.		147.46		

(30) Les produits ont augmenté des deux cinquièmes en quantité et en qualité.
(31) Même observation que pour le drainage de Frasne.
(32) L'opération a donné de bons résultats.
(33) Voir l'observation du drainage de la commune de Frasne.
(34) Ces drainages sont trop récents pour qu'on puisse en connaître le résultat autre que l'assainissement du terrain qui est obtenu.

Nota. Les drainages exécutés par le concours des agents du service des routes et ponts, placés par l'arrêté préfectoral du 1er décembre 1856 sous le contrôle du service hydraulique, et indemnisés sur les fonds de ce service, ont été indiqués dans la 4e colonne ci-dessus comme ayant été projetés et dirigés par ce dernier service.

Aperçu de l'importance future du drainage dans le Doubs. — Il s'en faut de beaucoup que le drainage ait acquis dans le Doubs tout le développement qu'il peut et doit y atteindre, car *à priori* on peut estimer qu'il peut être très-utilement appliqué au quinzième environ (18 000 hect.) de la superficie des prairies, terres labourables, vignes, etc. de ce département.

Or les 280 hectares drainés, constatés par notre compte rendu spécial, représentant à peine les 11 millièmes de cette surface, ne portent que sur 137 communes et 355 propriétaires, et ne comprennent que 260 parcelles qui sont aujourd'hui assainies et améliorées par ce procédé.

Résultats financiers obtenus. — Quant aux résultats de cette opération, il ressort de ce même compte rendu :

	fr.
Que la mieux-value moyenne acquise par hectare drainé serait de.	2 950
La dépense moyenne étant de.	380
Le bénéfice net serait ainsi moyennement par hectare de.	2 570

C'est-à-dire que le capital dépensé rapporterait un intérêt annuel de plus de 38 pour 100.

Nous ferons remarquer que cette moyenne, provenant de documents dont quelques-uns sont peut-être exagérés, ne peut être obtenue au bout de quelques années sur les terrains drainés qu'au moyen des amendements et des cultures soignés, analogues à celles que nous avons appliquées à nos expériences de drainage du marais de Saône.

Le compte rendu général, duquel nous avons extrait les documents qui précèdent, contient des renseignements plus détaillés et plus complets sur le développement du drainage dans le Doubs, sur les divers moyens appliqués, sur les résultats obtenus, ainsi que sur les chances d'application des lois des 10 juin 1854, 17 juillet 1856 et 28 mai 1858, destinées à favoriser ce développement. Nous croyons inutile de les reproduire.

§ III. *Drainages en cours d'exécution ou projetés.*

Les drainages en cours d'exécution ou seulement projetés sont nombreux, et il serait trop long d'en présenter la nomenclature; nous ne donnerons dans le tableau suivant que l'indication de ceux dont s'est occupé ou dont s'occupe actuellement le service hydraulique.

Tableau des drainages en cours d'exécution ou projetés par le service hydraulique.

INDICATION des propriétaires des terrains.	COMMUNES où sont situés les terrains.	SUPERFICIE du périmètre des projets	OBSERVATIONS sur la situation des entreprises.
		hect.	
La commune de Saint-Vit. .	Saint-Vit et Antorpes. . .	20.00	(1)
Association syndicale d'Auxon-Dessous et Cussey. . .	Auxon-Dessous et Cussey.	15.00	(2)
Association syndicale de la prairie du Saulcy.	Chamesol.	13.00	(3)
Jannerod.	Vanclans.	4.05	(4)
Association syndic. de Gênes.	Gênes.	10.45	(5)
La Société Chanoit et Cie . .	La Cluse.	32.00	(6)
Bourdenet.	Orchamp-Vennes	4.00	(7)
La commune de.	Montfaucon.	2.00	(8)
Boissard.	Bonnevaux.	2.78	(9)
		103.28	

(1) Ce drainage a principalement pour but de recueillir des eaux pour alimenter les fontaines publiques projetées à Saint-Vit. Les difficultés soulevées par la commune d'Antorpes n'ont pas permis jusqu'ici de mettre à exécution ce projet dressé en 1856.

(2) Ce projet dressé en 1856, d'après les opérations faites par le service hydraulique pour le dessèchement de la prairie à drainer, a reçu un commencement d'exécution, mais le manque de fonds a fait suspendre les travaux.

(3) Ce projet a déjà reçu un commencement d'exécution, mais les difficultés survenues au début ont fait ajourner les travaux.

(4) Ce projet a été dressé en 1857; jusqu'à présent le propriétaire n'a pas pris de mesures définitives pour son exécution.

(5) Ce projet a été dressé en 1857, mais jusqu'à ce jour l'association n'a pu parvenir à se constituer.

(6) Par arrêté de M. le préfet, en date du 5 juin 1858, le dessèchement par le drainage du communal de la Cluse avait été, sur nos propositions, concédé à la compagnie ci-dessus, qui a refusé d'accepter les conditions de cette concession. Aujourd'hui des propositions sont faites à la commune pour qu'elle réalise elle-même cette entreprise.

(7) Ce projet a été dressé en 1858, on ne connaît pas quelles sont les dispositions qu'a prises le propriétaire pour en assurer l'exécution.

(8) Ce projet, dressé en 1858, a pour objet de recueillir des eaux pour alimenter des réservoirs publics à créer.

(9) Ce projet a été dressé en 1859, et le propriétaire a sollicité le concours du service hydraulique pour en assurer l'exécution qui bientôt sera terminée.

4e SECTION. — ÉTUDE DE L'AMÉNAGEMENT DES EAUX DANS LES DOMAINES PRIVÉS.

Nous venons de parler de l'art du drainage et des mesures mises en usage pour en encourager l'application jusque dans les plus petites propriétés privées; mais s'il est utile d'*évacuer* du sol les eaux qui le frappent de stérilité par leur stagnation, il ne le serait guère moins de les *réserver*, au contraire, dans leur moment de surabondance, soit pour en extraire le limon et l'engrais qu'elles enlèvent au sol en le traversant et en le lessivant, pour ainsi dire, soit pour les utiliser dans des moments propices, afin de ranimer la végétation lorsqu'elle souffre des sécheresses.

Il nous semble que l'administration encourageant le drainage, il serait rationnel qu'elle encourageât aussi l'*aménagement des eaux*.

Nous avons déjà parlé des grandes réserves à établir avec l'intervention de l'État et le concours des parties intéressées; nous avons dit aussi que dans les grandes entreprises organisées ou exploitées par des associations et des compagnies, les *réserves* projetées pour compléter les moyens d'irrigations devaient êtres considérées comme parties intégrantes de ces entreprises.

Ce que nous entendons signaler ici, *c'est l'aménagement et la réserve des eaux*, même sur la plus petite échelle, par de nombreux réservoirs, *même fort petits*, dans les *domaines privés*, pour les besoins agricoles et horticoles de ces domaines.

Nous pourrions citer des propriétés d'une étendue restreinte, où l'aménagement des eaux, ainsi exécuté, produit et produira plus encore par la suite de merveilleux résultats, et si cet exemple se propageait par des encouragements de la nature de ceux que l'administration accorde pour le drainage, si l'État donnait l'exemple dans les grands domaines,

notamment dans les belles forêts qu'il possède, on ne tarderait pas à constater la notable augmentation de produits qui en résulterait.

Il va sans dire que de telles opérations, partout où elles se multiplieraient, ne tarderaient pas à exercer l'influence la plus prononcée sur le régime des cours d'eau.

M. l'inspecteur Polonceau avait imaginé dans ce but la création de rigoles horizontales sur tous les versants; mais cette idée n'est au plus praticable que sur quelques parties seulement en revers des côtes arides et incultes, pour en faciliter le reboisement.

Vouloir pratiquer cette idée sur des terrains couverts de forêts, de vignes ou de cultures quelconques, n'est qu'un rêve impossible.

Il n'en est pas de même de la création de réservoirs plus ou moins nombreux, *sur des points choisis par une étude rationnelle du sol*, sur un ensemble de parcelles contiguës formant un tout agricole (*).

Nous n'en sommes pas encore là sans doute, mais il faudra bien y arriver peu à peu, et l'on y arrivera quand l'administration (qui a d'ailleurs, il faut en convenir, fort à faire) pourra ouvrir la marche et encourager ceux qui seraient disposés à la suivre dans cette voie par des exemples et par des mesures à la fois administratives et financières.

5e SECTION. — ÉTUDES DES APPROVISIONNEMENTS D'EAU POUR LES USAGES DOMESTIQUES.

Observations générales sur l'utilité et l'objet de ces études. — La pureté de l'air, la bonne qualité et l'abondance des

---

(*) Si, par exemple, l'état voulait procéder à l'aménagement, à l'utilisation des eaux dans la forêt de Chaux, on augmenterait certainement de plus du cinquième, le produit de cette forêt qui est annuellement de 450 000 francs et on maîtriserait le régime du grand nombre de cours d'eau qui s'échappent des terrains tertiaires que cette forêt recouvre.

eaux domestiques sont, sans contredit, les conditions essentielles du développement et de la santé des populations.

Les conseils d'hygiène d'arrondissement et de département sont bien chargés de veiller à ce que ces conditions ne soient pas altérées dans leur existence actuelle, par toutes les causes qui peuvent agir d'une manière défavorable ; mais l'action de ces conseils est plutôt *passive* et *répressive* que *prévoyante* et *préventive.*

Ils veillent cependant, sous l'action administrative, à ce que l'air ne soit pas vicié dans les centres de population par des établissements insalubres dans leur voisinage; mais l'air pur atmosphérique pénètre partout; il ne faut que lui créer ou lui laisser des issues pour qu'il puisse circuler librement et naturellement; la question de sa circulation et de sa distribution peut exiger des moyens actifs comme dans les mines, mais celle de son approvisonnement n'en est pas une.

Effet de la quantité et de la qualité des eaux sur la santé. — Il n'en est pas de même pour les eaux destinées à des usages domestiques, et depuis que les épidémies sont venues frapper, même dans nos départements montagneux, un très-grand nombre de communes, l'attention s'est particulièrement portée sur l'insuffisance des eaux ménagères et sur l'influence que leur mauvaise qualité exerce sur la santé des populations qui en font usage.

Nous croyons pouvoir dire aujourd'hui que, dans bien des communes, ces circonstances ont été les causes principales des maladies qui en ont décimé les habitants.

Nécessité pour l'administration d'intervenir dans les questions d'approvisionnement d'eau pour les besoins domestiques. — L'administration, au dépourvu de moyens suffisants pour reconnaître *à priori* si les conditions projetées pour approvisionner les communes d'eaux potables étaient les meilleures possibles, ne pouvait pas cependant, en présence d'un bien évident, ajourner celui-ci dans l'attente d'un

mieux éventuel et inconnu; de sorte qu'elle avait raison d'approuver les projets, parce qu'il est résulté un bien immense de leur exécution, quoique cependant de nombreuses fautes aient été commises.

Le temps est venu où les services publics, organisés par l'état en vue de l'étude générale de l'emploi et de l'aménagement des eaux, doivent intervenir dans celle de l'approvisionnement d'eau des populations et. par cette intervention, prêter leur concours aux administrations départementales, afin de leur donner les moyens de faire, s'il est possible, mieux que par le passé.

En effet, depuis que beaucoup de communes du département du Doubs ont fait établir des conduites d'eau, des citernes ou de grands réservoirs pour le besoin des habitants, on a eu dans bien des cas, pour ces sortes de travaux, à déplorer l'absence d'études préalables suffisantes sur la nature, la qualité et le volume des eaux qu'on voulait utiliser, et même quelquefois sur la possibilité des conduites et sur le choix du tracé de celles ci.

C'est ainsi que, d'une part, les grandes eaux ont fait ressortir la mauvaise qualité des sources dérivées et que, d'autre part, les sécheresses ont démontré leur insuffisance.

D'un autre côté, presque chaque année, et surtout en 1857 et 1858, on a reconnu la pénurie des moyens d'approvisionnement d'eau dans un grand nombre de communes.

Pertes subies par les populations par suite du manque d'eau. —Nous avons commencé la statistique des pertes qui avaient été, dans le département, la conséquence de cette pénurie, et il résulte des documents dont nous sommes en possession que sur 564 communes il y en a 283 dont les moyens d'approvisionnement sont insuffisants, soit pour la totalité de leurs habitants, soit pour une partie seulement, et que cette insuffisance fait éprouver à ceux-ci en frais d'attelage, de déplacement, de perte de temps et autres, une perte moyenne annuelle d'environ 141 000 francs.

Il ne faut donc pas s'étonner, en présence de ces chiffres, que des demandes et des réclamations aient été produites pour que l'administration soit mieux secondée dans le choix des moyens à employer pour réduire et faire disparaître ces causes de perte et étudier les questions d'approvisionnement d'eaux avec plus de soin et plus de science qu'elles ne l'ont été jusqu'ici.

Études nécessaires pour faire disparaître ces causes de perte. — Indépendamment des projets de conduite et de distribution des eaux, il y a aussi, et avant tout, l'étude et l'appréciation de leur volume et de leur qualité, au point de vue des besoins auxquels elles doivent satisfaire.

Il va sans dire qu'aux études dont il s'agit ici se rattachent celles de *l'hydrographie souterraine locale*, toutes les fois que le choix des moyens d'approvisionnement, n'étant pas évident d'avance, exige préalablement, dans le sous-sol des recherches relatives à la découverte ou à l'allure des conduits souterrains par lesquelles s'alimentent les sources que l'on a en vue.

C'est une catégorie de questions qui prendrait certainement un notable développement, si l'on n'était pas arrêté par l'insuffisance du personnel dont dispose le service hydraulique pour y répondre.

Faisons remarquer que nous n'entendons ici faire allusion qu'aux études préalables sur la nature, la qualité, le volume des eaux et les moyens de les conduire ou de les réunir aux points voulus, et qu'il ne saurait être question, sauf pour des cas exceptionnels où l'administration supérieure autoriserait le service hydraulique à s'en charger, du dressé des projets et de l'exécution des travaux nécessaires tant pour la conduite que pour la distribution des eaux ou pour leur emmagasinage dans les réservoirs.

Intervention du service hydraulique dans les projets de conduites d'eau. — C'est ainsi que le service hydraulique a été amené, par des circonstances particulières et sur les

demandes incessantes des communes, à se charger de quelques projets de ce genre, dont voici l'indication sommaire.

Conduite d'eau de la commune de Bouclans. — Le 10 juillet 1853, le conseil municipal de cette commune demanda le projet des travaux nécessaires pour la conduite, dans le village, des eaux de la fontaine dite des *Parts-Damoisey*, et vota des fonds pour subvenir aux frais des études.

L'ingénieur ordinaire produisit, le 1er août 1854, avec les résultats du jaugeage de la fontaine, l'avant-projet de ces travaux, qui fut transmis au conseil municipal avec nos observations tendant à introduire divers perfectionnements dans ce premier travail.

L'administration ayant accueilli favorablement un nouveau vote du conseil municipal sollicitant qu'un projet définitif fût dressé par le service hydraulique, M. l'ingénieur Vivenot en a été chargé et s'est acquitté avec soin de cette tâche; le projet est complet, et le conseil municipal est maintenant en demeure d'arrêter un des systèmes financiers d'exécution que nous avons indiqués dans notre avis sur cette affaire.

Recherche d'eau pour la commune de Pirey. — Le 4 décembre 1854, le conseil municipal de cette commune demanda que le service hydraulique fût appelé à rechercher les sources environnant le village, dont les eaux pourraient être utilisées pour l'approvisionnement des habitants. L'ingénieur ordinaire du service hydraulique a produit sur cette affaire l'avis demandé.

Approvisionnement d'eau de la commune de Saint-Vit. — Le maire de cette commune fit, le 10 mars 1856, une demande analogue à celle ci-dessus; il ne s'agissait plus ici de rechercher des sources, mais d'en créer artificiellement par le drainage.

Nous chargeâmes M. Jeannenot fils, élève stagiaire d'agriculture, alors placé sous nos ordres, de répondre à

l'objet de cette demande ; il fit en conséquence le projet de drainage d'un terrain imperméable situé en face de Saint-Vit, sur le territoire d'Antorpes, et d'une contenance de 20 hectares.

Ce projet, que nous avons compris dans la troisième section du présent chapitre, parmi les drainages projetés (page 364), n'a pu encore être exécuté, par suite des difficultés survenues entre les communes de Saint-Vit et d'Antorpes.

Commune de Montfaucon. — C'est un cas analogue au précédent.

CHAPITRE QUATRIÈME.

ÉTUDES ET RECHERCHES ACCESSOIRES A L'HYDRAULIQUE USUELLE.

---

§ 1er. *Des effets de l'irrigation dans ses rapports avec la nature du sol et du sous-sol.*

Considérations générales sur l'effet des irrigations. — Cette question est assurément une des plus importantes de l'hydraulique agricole. On a vu, en effet, bien des cas dans lesquels l'irrigation, loin d'être avantageuse, même avec de bonnes eaux, était, au contraire, nuisible aux produits des prairies.

Nous avons eu occasion de constater ce fait lorsque le climat est froid et que les prairies sont établies sur une mince couche de terre végétale, reposant sur un sous-sol compacte ou marneux, tel par exemple que le sous-sol dit *oxfordien ou liassique supérieur*. Ce terrain est froid et retient fortement l'humidité, et ce n'est que par un ameublissement sur une certaine profondeur et sous l'action d'une chaleur forte et prolongée que les fourrages peuvent bien s'y développer en quantité et en qualité. Dans tous les cas, il ne faut à un pareil sol que très-peu d'eau, jusqu'à ce

qu'il ait été profondément divisé par l'action prolongée d'un bon drainage et par plusieurs profonds labours, et encore, dans ces conditions, l'eau n'est utile que lorsque l'exposition est chaude et à quelques époques seulement (*).

Dans ces circonstances, un demi-litre d'eau par seconde et par hectare suffit pour l'irrigation.

S'il s'agit d'un sol pierreux et perméable, l'irrigation lui est toujours profitable, et la quantité d'eau peut s'élever jusqu'à 10 litres par seconde et par hectare.

Il n'en est pas tout à fait de même lorsqu'il s'agit d'un sol végétal et calcaire reposant sur un sous-sol de roches calcaires perméables ; néanmoins, dans ce cas, l'irrigation à plusieurs litres par seconde et par hectare, surtout dans les expositions méridionales, est encore très-avantageuse.

Ce même avantage s'obtient aussi sur un sol formé d'un terrain limoneux plus ou moins épais, déposé sur un fond de gravier.

Sur les bords de la Moselle, on forme, par un colmatage, des prairies de toutes pièces sur des gravières sèches, arides et dépourvues de toute terre végétale. Ici, le colmatage d'abord, puis ensuite les irrigations, exigent des quantités d'eau bien plus considérables que dans les cas précédents.

Enfin, lorsque les eaux d'une vallée, d'un ruisseau ou d'une rivière commencent à être utilisées sur différents points de leur cours, il se présente beaucoup de questions de *partage d'eau*, soit entre les différentes entreprises d'irrigation, soit entre celles-ci et les usines.

On comprend combien, dans ces circonstances surtout, l'étude des questions que nous venons d'effleurer est importante, puisque leur solution est une des données les

(*) Il est bien entendu que nous faisons abstraction ici des arrosages pour limonage ou colmatage, qui ont pour but de faire déposer par les eaux un engrais sur le sol, ce qui est toujours, sans conteste, une opération profitable pour les cultures qui suivent la saison morte, pendant laquelle cette opération a lieu.

plus essentielles dont l'ingénieur ait besoin, lorsqu'il s'occupe de l'emploi et de la régularisation du régime des eaux et de leur partage entre les différents intérêts qui se les disputent les uns aux autres, par les demandes de concession adressées concurremment à l'administration.

§ II. *De la qualité des eaux employées aux irrigations.*

Dans ce qui précède, nous n'avons pas parlé de la *qualité des eaux pour les irrigations.*

C'est un principe élémentaire que certaines eaux conviennent peu pour les arrosages, soit en raison de leur température, soit en raison de la nature des graines microscopiques qu'elles peuvent tenir en suspension.

Avant de se livrer à l'étude d'un projet d'arrosage, l'ingénieur doit donc se préoccuper et se rendre compte de la qualité des eaux dont il peut disposer; c'est là, par conséquent, une étude qui doit marcher de front avec celle de l'effet des arrosages sur les différentes natures de sol et de sous-sol et de la quantité nécessaire par hectare dans chaque cas. Cette étude, à peine ébauchée par la pratique des irrigations, n'est encore que commencée.

§ III. *De la qualité des eaux employées aux colmatages et aux limonages.*

L'emploi des eaux troubles par le limonage des terres est, dans nos contrées comme partout ailleurs, une des opérations les plus fructueuses en agriculture; mais ces eaux sont plus ou moins fertilisantes, selon la qualité et la quantité de limon qu'elles charrient et selon la saison et la hauteur des crues.

C'est, en effet, une richesse immense que les eaux pluviales ravissent à nos montagnes pour aller la porter au loin dans les plaines inférieures, ou la jeter par milliards de mètres cubes au fond de la mer.

Il est donc très-important de rechercher pour chaque rivière, ruisseau ou source, la puissance fertilisante de leurs eaux troubles, c'est-à-dire *la quantité de limon qu'elles charrient et la qualité de ces limons*, soit pour guider les propriétaires et les associations dans l'emploi de ces eaux, soit pour provoquer l'utilisation de celles reconnues les meilleures, et prévenir l'emploi des mauvaises.

Nous nous proposons, en conséquence, de faire une appréciation quantitative et qualitative des limons transportés par nos cours d'eau, et, à cet effet, des instructions ont été données aux ingénieurs ordinaires du service hydraulique et des inondations pour recueillir des échantillons d'eau trouble. Nous en avons déjà nous-même recueilli, lors des crues du Doubs, à Besançon, en novembre et décembre 1858 et mai 1859.

Voici les résultats des analyses quantitative et qualificative des échantillons recueillis :

DÉSIGNATION des cours d'eau.	INDICATION de la partie considérée.	Poids du limon par mètre cube d'eau.	Quantités pour 100 parties.				
			de matières végétales.	de sable.	d'argile.	de carbonate de chaux.	de fer et d'alumine.
		gr.					
Doubs.	En amont de l'Allan. . . .	140.00	50.00	11.40	18.60	20.00	»
Id.	Entre l'Allan et le Cuisancin	64.67	35.50	22.00	22.00	20.50	tr.
Id.	En aval du Cuisancin. . . .	127.60	30.80	10.50	43.40	15.80	*id.*
L'Allan. . . .	En amont de la Savoureuse	50.00	46.70	30.00	13.30	10 00	*id.*
Id.	En aval de la Savoureuse.	24.00	35.00	40 00	25.00	tr.	*id.*
La Lusine. . .	» »	43.50	»	69.00	19.20	3.80	*id.*
La Loue. . . .	» »	16.00	»	»	»	»	»

Quantité de limon charrié par une crue du Doubs — Les laugeages faits au pont de Besançon, point où a été puisée l'eau qui nous a servi à déterminer les nombres de la troisième ligne du tableau qui précède, nous ont permis d'évaluer à 150 millions de mètres cubes la quantité d'eau trouble débitée par le Doubs sur ce point pendant une *crue moyenne*.

Or un mètre cube d'eau trouble tient en suspension

127g.60 de limon; il en résulte que, par une telle crue, il ne passe pas moins de 19 millions de kilogrammes de limon, dont la très-majeure partie est perdue entièrement pour l'agriculture.

Quoique ce nombre soit déjà considérable et qu'il permette d'apprécier *à priori* la quantité énorme des principes fertilisants que les eaux enlèvent aux terrains supérieurs, ils ne tiennent pas compte encore du limon que les eaux tiennent en suspension lorsqu'elles ne sont que *louches*, au lieu d'être *troubles* comme les échantillons recueillis.

Qualité fertilisante des limons du Doubs. — Les limons charriés par le Doubs sont justement renommés comme principes fertilisants par les propriétaires et agriculteurs riverains de ce cours d'eau; cela se conçoit par les analyses qui précèdent, où l'on voit que ces limons contiennent :

30 p. 100 au moins de débris organiques fortement azotés, et 70 p. 100 de matières minérales.

Il n'est donc pas étonnant que les limonages par des eaux troubles du Doubs constituent un engrais des plus puissants, et que nous insistions si vivement pour développer par association les entreprises qui ont pour but l'emploi agricole de telles eaux.

§ IV. *De la recherche et de la qualité chimique des terres employées et à employer comme amendements.*

Après le drainage, l'application des amendements est nécessaire pour arriver à une large rémunération du capital engagé. L'étude des amendements organiques, c'est-à-dire des engrais, ne saurait se relier au service hydraulique; il n'en est pas de même de celle des amendements *minéraux*, pour l'étude et la recherche desquels les ingénieurs, attachés à ce service, peuvent profiter de leurs tournées. Nous nous en sommes déjà, nous-même, occupé depuis fort longtemps.

Le laboratoire départemental que nous avons monté dans ce but nous a permis d'arriver à des résultats que nous avons fait connaître dans nos précédents comptes rendus, et qui ont même été déjà publiés en partie dans l'*Annuaire du Doubs*.

La réinstallation plus complète qu'auparavant de ce laboratoire nous a permis de réaliser presque entièrement le projet que nous annonçions naguère, de faire l'étude des amendements minéraux que l'on peut exploiter dans toute la série des formations dont on rencontre les affleurements plus ou moins fréquents sur le département du Doubs.

L'échelle géologique de ces formations s'étend, depuis les couches salifères du trias ou des assises keupériennes, jusqu'aux terrains les plus modernes, échelle dans laquelle nous trouvons plus de *vingt assises* susceptibles d'être exploitées et utilisées comme amendements, eu égard à leur composition et à leur aptitude à se fuser sous l'action annuelle des agents extérieurs. Pour les étudier, nous n'y avons pas recueilli moins de quatre-vingts échantillons, afin d'en connaître la valeur et la composition. selon les variétés qu'elles présentent, ou les différents états ou aspects sous lesquels on les rencontre ; cette étude est très-avancée et sera l'objet d'un rapport spécial.

§ V. *De l'effet du drainage sur les différentes natures de sol et de sous-sol.*

Cette opération soulève aussi, au point de vue du sol et du sous-sol auxquels on l'applique, des questions du plus haut intérêt.

Nous pensons que dans les sols marneux ou argileux qui éprouvent beaucoup de retrait par les sécheresses, se fendillent et s'ameublissent facilement, et où, après ce premier résultat, le soc de la charrue peut pénétrer profondément et avec facilité, on peut donner aux drains un espacement plus considérable que d'habitude.

Dans le cas contraire, où le sol marneux, compacte et dur, ne se fendille et ne s'ameublit que lentement, et est difficilement accessible à la charrue fouilleuse, il convient de rapprocher davantage les drains.

Entre ces cas extrêmes, il y en a naturellement beaucoup d'intermédiaires.

L'étude de l'influence du drainage sur l'ameublissement du sous-sol et le plus ou moins de promptitude de ce dernier résultat sont donc très-importants, puisqu'ils se lient à la fois au succès de l'opération, à sa promptitude et à sa dépense pour arriver au but.

§ VI. *De l'hygroscopicité des terres.*

La faculté qu'ont les terres d'absorber et de retenir une plus ou moins grande quantité d'eau varie beaucoup, tout égal d'ailleurs, d'une terre à l'autre.

Les terres ordinaires peuvent en retenir, à leur état de saturation, environ moitié de leur poids; les terres sableuses, siliceuses, en retiennent au maximum de 0.30 à 0.33 de leur poids : celles-ci l'absorbent facilement, mais la perdent de même sous l'influence des causes qui tendent à la faire couler dans les couches inférieures du sol, ou à l'évaporer. Les terres fortes, au contraire, les argiles, les marnes la cèdent difficilement, sous l'empire des mêmes causes; enfin, les terres fortement imprégnées d'humus, les terres tourbeuses en absorbent près de 100 p. 100 de leur poids, mais la perdent plus facilement que les argiles et les marnes.

La propriété qui résulte pour chaque nature de terre de la combinaison de cette triple aptitude, d'absorber l'eau plus ou moins facilement, d'en absorber une plus ou moins grande quantité et de présenter plus ou moins de résistance à la perdre, est d'une telle influence sur le succès de la végétation, sur le choix des cultures, sur celui des

amendements mêmes, enfin sur l'effet des phénomènes météorologiques de pluie et de climat, par rapport au régime des cours d'eau de chaque bassin, qu'on peut la considérer comme une des plus importantes à constater et à connaître, non-seulement pour l'hydrographie générale de chaque bassin, mais encore lorsqu'il s'agit, à un point de vue plus restreint et plus pratique, d'organiser rationnellement et fructueusement l'exploitation d'une entreprise agricole.

L'étude dont il s'agit ici se rattache donc essentiellement au service hydraulique, comme se rattache à un service de travaux la connaissance préalable et si variée pour chaque département des matériaux qui entrent dans les constructions publiques, et celle des diverses natures de sol sur lesquels on doit les asseoir.

Nous ne possédons encore comme documents précis que quelques éléments, au point de vue que nous venons de signaler, pour des terres de composition et de propriétés hygroscopiques extrêmes; ainsi les marnes infrajurassiques ou liassiques supérieures sont très-hygroscopiques, les sols sablonneux très-fins, tels que certains dépôts des eaux du Doubs, ceux de la plaine d'Osselle, par exemple (entreprise du syndicat d'Osselle), ne le sont pas; entre ces extrêmes, il y a bien des degrés intermédiaires, et il sera évidemment utile, dès que les circonstances le permettront, d'étendre et de perfectionner cette étude.

Observation générale. — Il y a, sans contredit, une infinité d'autres questions à étudier, d'autres documents à recueillir et à appliquer: mais nous devons nous borner à ceux qui font l'objet des paragraphes qui précèdent, jusqu'à ce que les moyens d'action plus complets puissent permettre de poursuivre dans toutes ses branches le développement des attributions du service hydraulique.

CHAPITRE CINQUIÈME.

MODE ADMINISTRATIF D'EXÉCUTION DES ENTREPRISES D'HYDRAULIQUE AGRICOLE.

Deux catégories d'entreprises agricoles hydrauliques. — Il résulte des paragraphes qui précèdent, que nous avons étudié ou fait étudier dans le Doubs, deux catégories de projets :

Les uns s'appliquant à de vastes superficies à dessécher et à irriguer, comprenant tous les travaux nécessaires à l'aménagement et à la distribution agricole et industrielle des eaux, et dont la réalisation procurerait d'*énormes bénéfices*, mais nécessiterait de *grands capitaux;*

Les autres, au contraire, s'appliquant à de petites superficies variables de 10 à 150 hectares, ne nécessitant que de minimes dépenses, mais produisant aussi, relativement à leur importance, de remarquables bénéfices.

Les premiers comprennent plusieurs grandes entreprises (*) susceptibles de donner lieu à l'organisation de compagnies concessionnaires et de frapper les esprits par la grandeur des résultats.

Les autres, au contraire, ont eu pour but de faire entrer les populations, par l'association entre les intéressés, dans une voie pratique d'exécution immédiate d'un grand nombre d'améliorations agricoles hydrauliques distribuées sur toute la surface du département.

Les grandes entreprises ne sont pas encore possibles. — Lorsqu'en 1851 nous nous livrâmes activement à l'étude des projets rappelés et résumés au § 2, chapitre III, qui précède, nous espérions voir bientôt surgir de nouvelles

(*) Ils se subdivisent aussi en un grand nombre de petites entreprises indépendantes, analogues à celles de la deuxième catégorie, c'est-à-dire s'appliquant à de petites surfaces.

dispositions législatives de nature à favoriser l'organisation des compagnies agricoles. Cet espoir était la conséquence d'une vue d'avenir que nous exprimions dans une lettre du 24 novembre 1846 à M. Legrand, directeur général des ponts et chaussées, de la manière suivante :

« Je suis convaincu, disions-nous, qu'après et même » pendant l'achèvement du réseau principal des chemins » de fer, l'esprit réalisateur du siècle s'emparera des entre» prises des travaux mixtes des ponts et chaussées et d'agri» culture (endiguement, desséchement, assainissement, » irrigation, etc.), et que c'est par là que débutera une » grande ère nouvelle de régénération du travail agricole » en France.

A en juger par les propositions énergiques de la commission du sénat, dans son rapport à l'empereur sur le Code rural, nous ne nous trompions alors que de date; cette commission reconnaît en effet, et avec raison, l'impuissance actuelle de la loi de 1807; on peut même ajouter que sa combinaison avec celles de 1845-1847 sur l'irrigation, et de 1854 sur l'assainissement, n'est pas non plus suffisante pour lever les obstacles qui arrêtent ces entreprises.

Il y a quelques dispositions simples et d'un résultat certain à consacrer par une loi; ce n'est pas le cas de les produire dans ce compte rendu; mais en attendant, et tant qu'une solution ne surgira pas, les capitaux se jetteront ailleurs que sur les grandes entreprises agricoles hydrauliques, qui resteront très-difficiles, sinon impossibles.

Les petites sont possibles par associations syndicales. — Quant aux petites entreprises, elles sont bien souvent réalisables par l'association des propriétaires, c'est-à-dire par des *associations syndicales.*

C'est donc à en organiser de ce genre le plus grand nombre possible (rien de plus vaste n'ayant encore de bonnes chances de succès) que nous nous sommes particulièrement attaché.

Réorganisation d'anciennes associations. — Depuis un temps immémorial, les propriétaires avaient bien senti déjà la nécessité de se réunir en association pour exécuter et exploiter des entreprises d'assainissement ou d'irrigation; mais ces associations qui, la plupart, ne fonctionnaient qu'au moyen de règlements coutumiers ou écrits, mais insuffisants, ne marchaient plus ou ne marchaient que d'une manière irrégulière et imparfaite. Les statuts laissaient prise à l'esprit d'opposition et permettaient l'introduction de graves abus dans la distribution des eaux et dans la répartition des dépenses, d'où résultaient beaucoup de désordres dans l'exploitation et dans la marche des associations : les travaux, qui n'étaient plus entretenus, tombaient de vétusté; les partages d'eau étaient faits arbitrairement; enfin, sous peine de voir tomber complétement ces entreprises ou pour relever celles qui l'étaient déjà, il devenait indispensable de les réorganiser sur des bases plus solides, avec l'appui protecteur de l'administration et le concours des agents du service hydraulique.

C'est ce qui a été fait pour un grand nombre, par les études et sur les propositions de ce service; en voici le tableau.

Tableau des anciennes associations réorganisées.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Irrigation des prairies de l'Allan. (4 associations syndicales).	Décret du 18 novembre 1851.	Répartition des dépenses annuelles proportionnellement aux surfaces. Nomination des membres des syndicats par le préfet. Intervention de ce dernier, dans tous les actes de gestion (1).

Observations et renseignements sur la marche et la situation des associations.

(1) Les dépenses actuelles ne sont que celles auxquelles donnent lieu l'entretien et l'exploitation annuelle.

Ces associations dont la réorganisation a été motivée, entre autres, pour la réglementation des prises d'eau, marchent bien et produisent de bons résultats.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Irrigation de la prairie de Bavans.	Arrêté préfectoral du 23 juin 1852.	Répartition des dépenses comme aux associations ci-dessus. Élection des membres du syndicat par les intéressés, ceux-ci ayant un nombre de voix en rapport avec leurs intérêts dans l'entreprise. Intervention du préfet dans tous les actes de gestion du syndicat (2).
Irrigation de la prairie de Présentevillers.	Arrêté préfectoral du 12 août 1852.	Répartition des dépenses comme ci-dessus. Nomination des membres du syndicat par le préfet, avec faculté aux intéressés de recourir à une élection. Intervention du préfet dans tous les actes de gestion du syndicat (3).
Irrigation de la prairie de Longevelle.	Arrêté préfectoral du 11 octobre 1852.	Répartition des dépenses des travaux neufs proportionnellement aux mieux-values, et des dépenses d'entretien et de roulement, proportionnellement aux surfaces. Élection des membres du syndicat par les intéressés, ceux-ci ayant un nombre de voix proportionnel à leur intérêt. Les membres syndics peuvent recevoir des jetons de présence. Compte rendu des actes de gestion du syndicat aux intéressés réunis en assemblée générale, où ils se prononcent sur toutes les questions d'intérêt général de la société (4).
Irrigation de la prairie de Semondans.	Arrêté préfectoral du 5 février 1853.	Organisation analogue à celle de l'association de Présentevillers.

(2) L'ancien mode d'administration était tellement tombé en désuétude, que la distribution des eaux était laissée à l'arbitraire des propriétaires: cet état de choses motiva des plaintes, et c'est pour y faire droit que l'association a été organisée. Cette mesure a donné des résultats satisfaisants ; l'association fonctionne bien.

(3) Des motifs tout à fait semblables aux précédents ont nécessité la réorganisation de cette entreprise, qui, en ce moment, fonctionne dans d'assez bonnes conditions. Cependant il serait nécessaire d'exécuter quelques travaux d'assainissement ; mais, jusqu'à présent, le chiffre de la dépense a été un obstacle à cette amélioration ; le syndicat n'a pu surmonter les résistances qu'on ne pourra apaiser qu'en proposant aux intéressés une répartition proportionnelle à l'intérêt de chaque associé, c'est-à-dire aux mieux-values.

(4) En 1840, les propriétaires intéressés se formèrent en syndicat ; mais les statuts, trop incomplets, ne donnèrent pas une force suffisante au syndicat : des plaintes s'élevèrent et nécessitèrent la reconstitution de cette société sur les bases actuelles. En ce moment, elle fonctionne bien ; jusqu'à présent, on a pu se contenter de répartir les dépenses proportionnellement aux superficies.

(5) A partir de 1838, les intéressés s'ingérèrent dans la distribution des eaux, et finirent par être les seuls juges dans leur propre cause. Les inconvénients qui résultèrent de cet état de choses motivèrent la réorganisation de l'association, qui, aujourd'hui, fonctionne bien.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Irrigation de la prairie Valentigney.	Arrêté préfectoral du 15 juin 1853. Nouvel arrêté du 22 juin 1858.	Le préfet n'a fait qu'homologuer des statuts rédigés et acceptés par les intéressés; il a seulement réservé la faculté de reconstituer l'association d'après les bases généralement admises, si cette mesure devenait nécessaire (6).
Irrigation de la prairie de Bart.	Arrêté préfectoral du 26 août 1853.	Répartition des dépenses et nomination des membres du syndicat comme pour l'association de Presentevillers. Administration de l'association comme pour celle de Longevelle; seulement le préfet intervient en cas de conflit (7).
Irrigation de la prairie de Colombier-Fontaine.	Arrêté préfectoral du 14 septembre 1854.	Organisation analogue à celle qui précède (8).
Irrigation de la prairie en aval de Mandeure.	Arrêté préfectoral du 17 mars 1855.	*Id.* (9)
Irrigation de la prairie de la Craie à Vermondans.	Arrêté préfectoral du 21 mars 1856.	Organisation semblable à celle de l'association de Bavans (10).
Irrigation des prairies de la Clôtre, de Jalesie et de Pomme-Ronde à Audincourt.	Arrêté préfectoral du 6 juin 1857.	Organisation semblable à celle de l'association de Bart, mais avec une administration distincte pour chaque prairie (11).
Irrigation de la prairie d'Audincourt, Arbouans et Courcelles.	Arrêté préfectoral du 8 juin 1857.	Organisation semblable à celle de l'association de Bart (12).
Irrigation de la prairie de la Prâte à Voujaucourt.	Arrêté préfectoral du 24 juillet 1857.	*Id.* (13).
Irrigation de la prairie de Vers-Berches à Voujaucourt.	*Id.*	*Id.* (14).
Irrigation de la prairie sous le village de Voujaucourt.	*Id.*	*Id.* (15).

(6) Il a été nécessaire de perfectionner les règles admises dans le contrat primitif pour la nomination des syndics, ce qui a été réalisé par un arrêté préfectoral du 22 juin 1858. Depuis, l'association a bien marché.

(7) Cette association, qui périclitait, a été réorganisée. En ce moment, elle fonctionne bien ; elle a fait rétablir ses prises d'eau et augmenter le périmètre de son entreprise.

(8) Depuis la réorganisation de l'association, qui a eu lieu à propos des modifications des prises d'eau, elle marche bien.

(9) La reconstitution de cette association a été motivée par des difficultés survenues entre les intéressés. Cette mesure a produit de bons résultats.

(10) Après avoir été constituée successivement sur différentes bases reconnues insuffisantes, cette association a été définitivement constituée par l'arrêté précité. Elle fonctionne bien actuellement.

(11) Mêmes observations que pour l'association de Mandeure.

(12) Autrefois cette entreprise était l'objet d'une société privée qui ne pouvant plus fonctionner, a été convertie en association syndicale ; mesure qui a eu de bons résultats.

(13) Mêmes observations que celles relatives à l'association de Mandeure. Le service hydraulique étudie en ce moment le projet des travaux de grosses réparations à exécuter.

(14) et (15) *Id.* Bons résultats.

On voit par ce tableau que la réorganisation des anciennes associations au moyen de statuts plus parfaits que les anciens a, pour toutes, *complétement réussi.*

Avant-projets et marche pour organiser de nouvelles associations. — Les avant-projets destinés à en provoquer de nouvelles, encouragées par les exemples qui précèdent, sont dressés à la demande des communes et des particuliers, par le service hydraulique et au moyen de fonds d'études alloués par le département et l'état, et de subventions que nous exigeons dans chaque cas des communes et même des particuliers pour faire face aux frais des opérations sur le terrain, chaînages, sondages, bornages, etc...

Ces avant-projets se composent d'un mémoire ou exposé descriptif de l'opération et de ses résultats probables; puis de plans, profils, évaluation des dépenses, évaluation des mieux-values, tableau des parcelles et des propriétaires, projets de statuts, propositions de nomination d'un syndicat provisoire et, s'il y a a lieu, d'un dossier de règlement des prises d'eau.

Il y a enquête, acceptation plus ou moins facile, plus ou moins contestée des statuts, arrêté constitutif, arrêté de règlement d'eau et décret d'utilité publique, s'il y a lieu.

Une fois l'association organisée, son syndicat doit pouvoir agir avec l'appui de l'administration et le concours des ingénieurs ou de leurs agents.

Difficulté de faire accepter et appliquer les statuts. — L'acceptation et l'application des statuts d'association est la difficulté la plus grande qui se présente pour arriver aux améliorations agricoles, même les plus fructueuses, lorsqu'elles doivent porter sur un nombre plus ou moins considérable de parcelles appartenant à différents propriétaires.

Les travaux ne peuvent s'exécuter que suivant des projets et des vues d'ensemble; or la diversité et la multiplicité des intérêts, les habitudes de culture, les préjugés, la situation financière de quelques-uns des propriétaires, enfin les op-

positions de personnes et de partis sont autant d'obstacles à vaincre, et l'on conçoit qu'il n'est pas facile de rédiger des clauses de statuts propres à lever ou tourner toutes ces difficultés.

Formules de statuts. — Les formules peuvent varier à l'infini suivant les circonstances de l'entreprise, selon la composition prévue du syndicat, les lumières des intéressés, leur plus ou moins d'empressement à réaliser les améliorations projetées, et à s'associer dans ce but.

Principes à poser dans les statuts — Dans tous les cas, les questions dominantes sont celles :

1° Du degré d'intervention de l'autorité administrative dans la gestion de l'entreprise ;

2° Du principe de la répartition des dépenses ;

3° Du degré de prééminence de chaque associé dans la gestion, selon son intérêt.

Dissertation sur le degré d'exactitude d'application de ces principes à introduire dans les statuts. — Il résulte de l'expérience acquise que tantôt il convient de faire prédominer l'action administrative, tantôt le contraire; que tantôt il convient d'adopter un principe très-simple de répartition des dépenses, sauf à sacrifier l'exactitude, tantôt de poser tout d'abord un principe d'une application plus précise, plus difficile, mais plus équitable.

L'expérience récemment acquise et la décadence des anciennes associations prouvent aussi que des principes simples, mais inexacts, admis de prime abord par les associés, ne tardent pas à devenir, lorsque les intéressés apprécient avec plus de clairvoyance la répartition des avantages, une cause de difficultés et d'embarras très-graves.

Lorsque, par exemple, le principe de la répartition des dépenses proportionnellement aux surfaces, d'une application assurément très-facile et fort simple, est, par cela

même, admis de prime abord, les intéressés ne tardent pas généralement à s'apercevoir qu'il ne tient aucun compte de la différence de valeur vénale intrinsèque de l'are d'une parcelle à l'autre, différence qui varie du simple au double et même au triple; de sorte que telle propriété qui, avant le commencement de l'entreprise, avait été bien cultivée et très-bien entretenue, et qui, par conséquent, ne pouvait certainement pas obtenir une mieux-value aussi considérable que telle autre propriété négligée par son possesseur, est appelée cependant à contribuer aux dépenses dans la même proportion que la première.

La nature physique et minéralogique variable du sous-sol, l'exposition, l'inégale répartition des eaux employées à l'irrigation, ou seulement même le rang de jouissance des eaux, font également varier les mieux-values pour une même unité de surface : de là, après un certain temps, si la répartition des frais reste proportionnelle aux surfaces, le mécontentement et l'opposition des intésessés les moins favorisés, et l'origine de la décadence de l'association.

Il en est de même encore du principe qui règle le degré de prééminence de chaque intéressé dans la gestion, d'après l'importance des intérêts qu'il engage dans la société; c'est chose fort simple que de n'attribuer qu'*une voix* délibérative à chaque associé, mais c'est fort peu équitable, et l'introduction de ce principe dans les statuts ne tarde pas, comme celui de la répartition proportionnelle aux surfaces, à soulever de l'opposition dans les assemblées générales.

L'intervention administrative ne peut jamais être supprimée. — Quant à l'intervention administrative, elle ne peut jamais être supprimée, même pour les associations syndicales qui fonctionnent le mieux; car elle devient indispensable lorsqu'il survient des conflits entre les associés ou entre ceux-ci et le syndicat, elle est nécessairement aussi réservée, même dans la gestion, chaque fois que celle-

ci comprend les intérêts communaux, cas auxquels les maires doivent être de droit directeurs, ou au moins membres du syndicat.

Nous avons vu des cas où les propriétaires se refusaient à se constituer en association syndicale, repoussant une intervention administrative quelconque dans les actes de gestion de leurs intérêts privés, bien que celle-ci ne fût que relative à la communauté de ces intérêts ; toutefois, ce cas ne se présente que très-rarement.

Dans d'autres cas, au contraire, notamment dans la classe des cultivateurs, on rencontre beaucoup de propriétaires qui considéreraient leurs intérêts comme très-aventurés, s'ils les engageaient dans une communauté où ils ne verraient pas dominer l'appui et la tutelle de l'autorité départementale.

Deux formules de statuts différentes par leurs principes extrêmes. — On conçoit, d'après ce qui précède, deux formules très-différentes de statuts d'association : l'une consacrant l'intervention de l'administration départementale dans le choix des membres du syndicat et dans tous les principaux actes de la gestion, comme pour une commune, admettant le principe de la répartition proportionnellement aux surfaces ; enfin, n'accordant, dans les délibérations, aucune prééminence aux plus intéressés sur les autres.

L'autre formule, au contraire, restreignant l'intervention administrative départementale aux cas de conflits ou autres cas graves, consacrant, par conséquent, le choix par l'élection des membres du syndicat, n'admettant que la répartition des frais proportionnellement aux mieux-values, déterminant enfin le nombre des voix attribuées à chaque intéressé, d'après une proportion basée sur celle de l'importance de ses intérêts engagés dans l'association.

Nous avons rédigé, d'après ces derniers principes, une formule type tellement complète, qu'on pourrait, en quel-

que sorte, la considérer comme un manuel des associations syndicales ; on y trouve, en effet, toutes les formules nécessaires pour mettre en application les principes qui y sont admis, notamment pour la répartition des voix dans les votes des assemblées générales, pour l'appréciation des mieux-values et la répartition des dépenses, soit par le syndicat, soit par des commissaires répartiteurs (*), soit enfin par une commission spéciale telle qu'elle est instituée par la loi du 16 septembre 1807 ; elle laisse aussi la faculté d'indemniser, au besoin, les membres du syndicat, principe juste et essentiel dans nombre de cas particuliers; enfin, elle prévient la plupart des obstacles qui minent l'existence de ces sortes d'associations.

L'usage consciencieux de cette formule nous paraîtrait donc de nature à constituer et à rendre durables les associations syndicales pour le plus grand nombre de cas où, avec d'autres, elles finissent par tomber en décadence; enfin, son emploi aurait l'avantage de débarrasser l'administration départementale d'un fardeau de gestion qui finirait par l'écraser, à mesure que s'accroîtrait le nombre des syndicats.

Malheureusement, à moins d'une étude sérieuse et d'une ténacité persévérante, ce *n'est pas de prime abord* qu'on peut en comprendre toutes les clauses et les appliquer ; de là nécessité, pour arriver à constituer l'association, d'adopter plus complétement les anciennes formules, se rapprochant beaucoup du premier type dont nous avons parlé; cela est surtout vrai pour les associations nouvelles à organiser.

Types variables selon les circonstances, entre les deux types extrêmes. — Il est clair cependant qu'entre ces deux types extrêmes, on peut en adopter un grand nombre de

(*) Ainsi que l'a indiqué pour le curage des ruisseaux, l'arrêté préfectoral réglementiare du 12 février 1857.

différents par l'admission d'une partie des principes posés dans l'un ou l'autre type.

C'est précisément ce que nous avons été obligé de faire l'expérience prouvant clairement que, pour le succès d'organisation, le mieux est de proposer une formule de statuts *facilement comprise par la majorité des intéressés*, sauf à la modifier ultérieurement par de nouveaux arrêtés préfectoraux, lorsque apparaissent (*) des germes de décadence dus à des principes dont l'inexactitude, mise au jour, soulève des mécontentements qu'il faut apaiser.

Formule de statuts provisoire ou préalable. — Il y a plus, c'est que souvent on ne parvient pas à faire comprendre aux propriétaires qu'il n'est pas obligatoire pour l'association de faire *tous les travaux prévus* par les avant-projets, que ceux-ci peuvent être modifiés, restreints, fragmentés et subdivisés en périodes; la frayeur de s'engager par l'acceptation des statuts les domine, ils reculent et s'esquivent. C'est au point que nous avons jugé nécessaire d'établir en quelques articles une formule d'association *provisoire*, par laquelle les intéressés s'en tiennent à exprimer l'intention de se réunir en société, d'exécuter les améliorations prévues, et ne s'engagent, jusqu'à plus ample informé, par les soins d'un comité provisoire désigné *ad hoc*, qu'à s'assembler pour entendre les propositions du comité, et à ne supporter de frais, s'il y a lieu, que jusqu'à concurrence d'une somme très-minime par hectare.

Marche adoptée et suivie. — Par ce moyen, on arrive à éclairer les intéressés et à leur faire adopter l'un des deux types plus ou moins modifiés, selon les circonstances, par une combinaison des principes et des clauses empruntés à l'un ou à l'autre; l'entreprise s'organise ainsi et marche,

(*) Par le contrôle que le service hydraulique exerce sur la marche des syndicats.

sauf à modifier plus tard les statuts, en y introduisant de nouveaux éléments d'indépendance dans la gestion et de justice distributive dans la répartition des avantages et des frais.

Telle est la marche à laquelle nous nous sommes fixé.

Voici maintenant le tableau des associations nouvelles, des clauses principales de leur organisation, de leur degré d'activité et de succès.

Tableau des nouvelles associations organisées.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Irrigation des terrains de la Grande-Fin, à Osselle	Décret du 3 octobre 1851.	Répartition des dépenses proportionnellement aux surfaces. Nomination du syndicat par le préfet. Intervention de ce magistrat dans tous les actes de gestion de l'association (1).
Irrigation de la prairie d'Avilley.	Arrêté préfectoral du 4 juin 1852.	Répartition des dépenses des travaux neufs, proportionnellement aux mieux-values, et des dépenses d'entretien et de roulement, proportionnellement aux surfaces. Nomination des membres du syndicat et intervention du préfet comme à l'association d'Osselle (2).
Irrigation de la prairie de Pompierre.	Arrêté préfectoral du 15 juin 1852.	Organisation comme celle qui précède (3).

Observations et renseignements sur la marche et la situation des associations.

(1) Cette entreprise a d'abord été administrée par un syndicat provisoire qui a fait exécuter sans difficulté une première partie des travaux; mais pour une seconde partie, où il y avait de grands mouvements de terre à opérer, il est survenu des oppositions qui n'ont pu être levées qu'en faisant une répartition exceptionnelle de ces travaux sur les propriétaires qui y étaient spécialement intéressés. A la suite de cet incident, on a reconnu la nécessité de donner une constitution définitive à l'association qui, maintenant, marche bien, sauf cependant qu'elle doit se préoccuper des améliorations qu'il serait très-utile d'apporter dans l'entreprise.

(2) Le syndicat de cette entreprise a sollicité et obtenu la concession et la réglementation de ses prises d'eau, mais n'a pu faire exécuter encore les travaux. Il faut, par des mesures que le prochain rapport du contrôle du service fera connaître, rétablir la marche de l'association.

(3) Les travaux ne sont pas encore exécutés; mais le syndicat a fait dresser le projet définitif qui a été contrôlé par le service hydraulique. Jusqu'à ce moment, aucune difficulté n'a été signalée dans cette association, sauf une grande lenteur dans la marche.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Irrigation de la prairie de Grandfontaine.	Décret du 24 novembre 1352.	Répartition des dépenses proportionnellement aux intérêts de chaque associé. Election des membres du syndicat. Intervention du préfet dans tous les actes de gestion de la société. Déclaration des travaux d'utilité publique (4).
Irrigation de la prairie de Routelle.	Arrêté préfectoral du 13 janvier 1853.	Organisation semblable à celle de l'association d'Osselle (5).
Irrigation de la prairie des Mourats, à Emagny.	Arrêté préfectoral du 2 février 1854.	*Idem* (6).
Assainissement et irrigation de la prairie d'Auxon-Dessous et Cussey.	Arrêté préfectoral du 12 mai 1854.	*Idem* (7).
Irrigation de la prairie de l'Etang de Rainans.	Arrêté préfectoral du 26 août 1854.	Répartition des dépenses comme à l'association d'Avilley. Election des membres du syndicat par les intéressés qui y concourent avec un nombre de voix proportionnel à leur intérêt. Les syndics peuvent recevoir des jetons de présence. Compte rendu de tous les actes de gestion du syndicat aux intéressés réunis en assemblées générales, dans lesquelles ils votent ou approuvent, comme aux élections, toutes les mesures d'intérêt général. Intervention du préfet en cas de conflits (8).
Irrigation de la prairie des Noyes, à Chamesol.	Arrêté préfectoral du 17 septembre 1854.	Organisation semblable à la précédente association (9).

(4) Les travaux, dont les projets définitifs ont été rédigés par le service hydraulique, n'ont pu être entrepris qu'après la révocation du premier syndicat et sa réélection. Actuellement l'entreprise est en état de roulement, et a même déjà donné de bons résultats; mais l'administration du syndicat laisse à désirer. On rappellera le syndicat au règlement, et l'on invitera l'association à nommer un garde irrigateur.

(5) Les propriétaires commencèrent les travaux aussitôt l'association organisée; mais des difficultés survenant à propos du mode adopté, les travaux ont langui, puis ont été ajournés; une partie des terrains a été livrée à la culture des céréales.

L'opposition provient des propriétaires les plus voisins de la source. Le syndicat sera reconstitué et recherchera les moyens de lever les obstacles qui arrêtent la marche de l'entreprise.

(6) Les travaux sont exécutés et l'entreprise est en plein roulement; l'association marche d'une manière satisfaisante.

(7) L'association a commencé les travaux d'assainissement et se propose même de compléter cette première opération par le drainage. Quant aux irrigations, l'association a hésité jusqu'ici à les exécuter.

(8) Cette association a pu être organisée d'après la formule de statuts la plus complète et la plus complexe; il y a eu beaucoup de lenteurs, et le syndicat n'a pu encore que faire préparer le projet des travaux et solliciter le règlement de ses prises d'eau : peut-être eût-il été été mieux de faire adopter, *pour mettre l'affaire plus rapidement en train*, des statuts plus simples. Cependant l'association paraît vouloir marcher désormais.

(9) Même observation, quant à la marche de l'association, que pour la précédente.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Assainissement de la prairie de Saulcy, à Chamesol.	Arrêté préfectoral du 17 septembre 1854.	Organisation semblable à la précédente (10).
Assainissement de la prairie en aval de Longevelle.	Arrêté préfectoral du 17 mars 1855.	*Idem* (11).
Assainissement de la prairie de Preferrue, à Lavernay.	Arrêté préfectoral du 5 juin 1855.	Organisation semblable à celle de l'association de l'étang de Rainans (12).
Assainissement de la prairie de Grand-Roue, à Jallerange.	Arrêté préfectoral du 13 août 1855.	*Idem* (13).
Irrigation de la prairie de Brères et Mesmay.	Arrêté préfectoral du 7 juillet 1856.	*Idem* (14).
Assainissement de la prairie Sous-la-Velle, à Lavernay.	Arrêté préfectoral du 20 juillet 1857.	*Idem* (15).
Irrigation de la prairie d'Appenans.	Arrêté préfectoral du 28 août 1857.	*Idem* (16).
Assainissement de la prairie de Lougres.	Arrêté préfectoral du 11 juin 1858.	*Idem* (17).
Assainissement de la prairie de Thurey.	Arrêté préfectoral du 9 mars 1859.	*Idem* (18).
Irrigation de la prairie de Seloncourt.	Arrêté préfectoral du 12 avril 1859.	Répartition des dépenses relatives à l'irrigation, proportionnellement aux surfaces, et celles relatives à l'assainissement, proportionnellement aux intérêts de chacun. Nomination des membres du syndicat et intervention du préfet comme dans l'association d'Osselle (19).

(10) Le syndicat a fait exécuter le piquetage des canaux d'assainissement; mais, par suite de l'opposition de quelques propriétaires à laisser traverser leurs terrains, l'ouverture de ces canaux a été suspendue Il faudra peut-être en venir à la déclaration d'utilité publique et à faire modifier la composition du syndicat.

(11) Les travaux, quoique peu importants, n'ont pas été exécutés; le syndicat n'est même pas encore entre en fonction.

(12) L'association a fait exécuter les travaux les plus urgents; elle paraît continuer à bien fonctionner et a déjà obtenu de très-beaux résultats; le produit des prés marécageux est déjà double de ce qu'il était auparavant.

(13) Les travaux les plus urgents ont été exécutés; il s'agira de stimuler cette association.

(14) Cette association n'a pas encore su donner suite au projet. A la prochaine tournée de contrôle, on verra s'il ne serait pas nécessaire de changer la composition du syndicat.

(15) L'association paraît marcher à son but.

(16) *Idem*.

(17) Les travaux d'assainissement ont été exécutés; restent à exécuter ceux de l'irrigation. L'association fonctionne d'une manière satisfaisante.

(18) Le syndicat n'a pas encore fait exécuter les travaux et a besoin d'être stimulé.

(19) De fréquentes difficultés sont soulevées par quelques propriétaires contre la gestion du syndicat ; le service hydraulique s'occupe d'examiner s'il est possible d'y remédier.

DÉSIGNATION des associations syndicales organisées.	NATURE et date des actes administratifs qui les constituent.	PRINCIPES GÉNÉRAUX admis dans les actes constitutifs.
Assainissement des Noves, à Mandeure et à Valentigney.	Arrêté préfectoral du 20 avril 1859.	Répartition de toutes les dépenses proportionnellement aux intérêts de chaque associé. Nomination des membres du syndicat et intervention du préfet comme dans l'association d'Osselle (20).
Association de Thise.	. . . .	Analogues à ceux des précédentes (21).

(20) Le syndicat s'occupe de faire compléter les travaux exécutés en 1858, et paraît vouloir fonctionner activement.

(21) Les propriétaires influents ne sont pas disposés à accepter les statuts proposés, et préféreraient rester en association privée, agissant en dehors du contrôle préfectoral.

Il s'en faut, comme on le voit par les annotations du tableau qui précède, que toutes nos associations syndicales marchent aussi bien qu'on pourrait le désirer. Il semble, en effet, que, très-souvent, l'aptitude des intéressés à se prêter à l'*administration sociétaire* ne peut venir qu'à la suite de plusieurs tentatives arrêtées, puis reprises, et que c'est à ce fait qu'est due la bonne réussite de la réorganisation des anciennes associations tombées en décadence. A chaque instant, dans l'organisation des nouvelles associations, il surgit des incidents et des conflits qui ont généralement pour origine, ou le peu d'acquis pratique des intéressés en fait d'association, ou le morcellement des parcelles et l'antagonisme entre leurs propriétaires, qui en est le plus souvent la conséquence, ou la combinaison de plusieurs de ces causes réunies.

Cas où les associations réussissent. — Lorsque le terrain est peu accidenté, que les travaux ne détruisent ou ne dénaturent que de petites superficies, que le nombre des propriétaires n'est pas très-considérable, et que les opposants ou les indifférents, peu actifs et peu nombreux, ne peuvent paralyser la bonne volonté des autres ; enfin, lors-

qu'il se trouve parmi les propriétaires des hommes zélés, dévoués et propres à composer un bon syndicat, l'association et les travaux réussissent rapidement; nous en avons de bons exemples.

Cas où les associations syndicales ne réussissent pas. — Mais lorsque les circonstances précédentes n'existent pas, ou que des circonstances contraires se produisent; lorsque de nombreuses parcelles sont entièrement occupées ou profondément bouleversées par des mouvements de terre qui reportent sur certaines parcelles ce qu'ils enlèvent sur d'autres, diminuent le fonds ou capital des uns, accroissent celui des autres, changent très-notablement les conditions de toutes, le morcellement des parcelles devient alors un obstacle invincible à la réalisation de l'entreprise et au consentement des propriétaires, qui n'ont plus confiance dans le calcul ultérieur des mieux-values, fût-il réservé par les principes les plus exacts.

En effet, la mieux-value peut disparaître par un vice de gestion de quelques années seulement, l'association tomber en décadence et laisser les propriétaires avec leurs parcelles, les unes diminuées, les autres accrues dans leur valeur vénale.

Il y a donc des cas, et nous dirons même des cas en très-grand nombre, où l'association syndicale, qui respecte la division cadastrale, c'est-à-dire le morcellement des parcelles, est impuissante; et alors les entreprises à superficie restreinte ne sont pas plus réalisables que celles qui ne sont abordables que par les compagnies et avec de grands capitaux; et pour les premières comme pour celles ci, un mode d'exécution qui établisse plus de solidarité entre les intérêts associés, plus d'unité dans l'action, plus d'ensemble indivisible dans l'opération, est *nécessaire.* C'est là désormais un point de principe admis.

L'énergique moyen proposé par la commission du sénat pour le desséchement des marais le prouve surabondamment.

Nécessité d'une mesure législative pour vaincre les obstacles. — Cette commission a, dans son rapport, touché du doigt la solution de nature à *industrialiser l'agriculture;* que le gouvernement y mette la main, et de ce jour datera le commencement d'une ère nouvelle, effective et pratique d'exécution régénératrice du travail agricole en France; car la science est faite et se perfectionne chaque jour. Le personnel ne manquera pas; on le trouvera d'abord dans le personnel des ponts et chaussées, dont un décret a provoqué et réglé l'intervention dans ces sortes de travaux, auxquels sont maintenant spécialement aptes MM. les ingénieurs et agents des services hydrauliques, puis dans l'innombrable phalange des agents voyers; le haut personnel technique surgira, d'ailleurs, des Écoles polytechnique et autres écoles d'application, à l'appel des grandes compagnies agricoles, comme il a surgi à celui des grandes compagnies de chemin de fer.

Enfin, quant aux capitaux, les entreprises, grandes et petites, à *bénéfices assurés* (et ce sera le cas), n'en ont jamais manqué en France et n'en manqueront pas quand, appliquées à l'agriculture, *leur marche et leur succès seront assurés par une mesure législative simple et sûre.*

Contrôle des associations syndicales. — On a vu, par le paragraphe précédent, combien il était nécessaire de venir en aide aux associations syndicales pour faciliter leur marche, contrôler leurs opérations, leur prêter enfin, de temps à autre, le concours dont elles peuvent avoir besoin, soit pour les dispositions techniques à prendre, soit pour les mesures administratives nécessaires au but qu'elles se proposent.

Souvent aussi l'initiative et l'habileté pratique leur manque pour agir.

Afin de remédier à ces inconvénients et pour tirer tout le parti possible de leur organisation, il était à propos de diviser le service hydraulique du département par circonscription de conducteur ou d'agent chargé de vérifier, au

moins chaque trimestre, toutes les associations syndicales, et de rendre compte du résultat de leur tournée.

Ce service ainsi organisé est sans contredit fort utile; seulement il faudrait établir des sous-divisions et rendre plus incessant et plus effectif le contrôle des associations. C'est ce qui ne pourra se faire que par la multiplication des agents attachés au service hydraulique et les moyens de surveillance dont ce service pourra disposer.

CHAPITRE SIXIÈME.

RÈGLEMENT ADMINISTRATIF DES USINES ET DES PRISES D'EAU D'IRRIGATION.

L'une des importantes tâches du service hydraulique est la réglementation administrative, au point de vue des intérêts généraux et des tiers intéressés, des eaux usinières et agricoles, et celle sur laquelle ont dû se porter plus particulièrement ses moyens d'action, dès le début de son organisation, fin 1849.

Depuis, l'activité déployée dans cette branche de service a permis de régulariser un grand nombre d'affaires arriérées; mais les demandes de règlement d'eau s'étant rapidement accrues en même temps que surgissaient des attributions nouvelles du service, sans que cependant les ressources en personnel aient été augmentées dans la même proportion, comme cela arrive toujours pour les services nouveaux, il a fallu de grands efforts pour combler à la fois l'arriéré et satisfaire au courant de cette partie du service, dont voici la situation actuelle :

A la date de notre dernier compte rendu, le nombre d'usines en prises d'eau réglementées s'élevait à	181
Depuis lors, il en a été réglementé	13
Non compris trois affaires ayant pour but la modification de trois anciens règlements; de telle sorte que le nombre total des usines ou prise d'eau d'irrigation administrativement régularisées est de	194

Ce n'est pas encore le tiers des usines à réglementer dans le département du Doubs.

Pendant le dernier exercice, le service hydraulique s'est occupé de l'instruction, à divers degrés, de quarante-quatre affaires nouvelles, et aujourd'hui le nombre de celles qui lui restent en charge est de 19 (*).

Nous espérions, à l'époque de notre dernier compte rendu, que nous pourrions commencer la statistique *historique et réglementaire des usines*, statistique qui eût présenté l'origine de chacune d'elles, ses droits acquis, les modifications et transformations qu'elle avait subis, la force motrice qu'elle utilise et qu'elle laisse disponible sur le point du cours d'eau où elle est établie, les conditions actuelles de son roulement, les concessions qu'elle avait obtenues et qu'elle pourrait obtenir, etc., etc... Mais l'insuffisance du personnel du service n'a pas encore permis d'attaquer ce travail, d'autant plus utile cependant que la réglementation industrielle des cours d'eau se lie intimement à leur utilisation agricole, et doit la précéder ou se coordonner avec elle. Il est donc important de bien connaître à l'avance les droits et les conditions qui peuvent primer celle-ci avant de la réglementer elle-même.

CHAPITRE SEPTIÈME.

AFFAIRES DIVERSES NON COMPRISES DANS LES CHAPITRES QUI PRÉCÈDENT.

Les affaires classées sous cette dénomination deviennent chaque jour plus nombreuses; le détail suivant de celles

(*) Nous ne comprenons dans ces charges, que les règlements d'eau à instruire après la première et la deuxième enquête, les récolements des ouvages prescrits par les règlements rendus n'y figurent pas, parce que, à moins de réclamations par les intéressés, on ne fait ces récolements que lorsque les circonstances et les besoins du service nécessitent la présence de l'ingénieur ordinaire du service hydraulique, soit sur les lieux mêmes où ces récolements sont à faire, soit sur des points peu éloignés.

qui ont été traitées depuis notre dernier compte rendu fait connaître les diverses catégories sous lesquelles on peut les grouper :

1° Demandes des projets d'hydraulique agricole (*).	2
2° Questions ressortissant au contrôle des associations syndicales et à l'organisation de celles-ci (**). .	8
3° Demandes de secours ou de subvention pour des travaux d'hydraulique agricole	2
4° Plaintes et réclamations concernant les usines et prises d'eau d'irrigation (***)	19
5° Amélioration des rivières pour le flottage, régularisation du lit de cours d'eau, curage, examen des projets d'alignement et d'empiétement sur les cours d'eau, reconstruction des ponts, extraction du sable et autres questions concernant le régime des eaux, etc. .	7
6° Comptes rendus moraux des travaux exécutés et de leurs situations	5
7° Acquisitions d'instruments	2
8° Budgets et demande de crédits	7
9° Affaires hors catégorie	5
Total.	57

CONCLUSIONS GÉNÉRALES A DÉDUIRE DU COMPTE RENDU QUI PRÉCÈDE.

De la lecture de ce compte rendu chacun peut, ce me semble, conclure qu'en soutenant avec persévérance la marche progressive des opérations du service hydraulique, il en résultera, même sans vouloir leur donner immédiate-

(*) C'est une instruction *préalable* à l'étude de l'avant-projet et à l'organisation de l'entreprise.

(**) Questions de conflits et autres analogues.

(**) Nécessitant rapport préalable à la première enquête *de commodo vel incommodo*.

ment tout le développement qu'elles comportent, de très-grands avantages pour le pays.

On ne saurait assurément vouloir évaluer *numériquement* l'utilité du contrôle de tous les actes publics et privés qui touchent aux lits des rivières et des ruisseaux, et de la réglementation administrative de toute entreprise qui a pour but *l'emploi de leurs eaux;* mais pour n'être pas une *affaire de chiffres*, la haute utilité de ces branches de service n'en est pas moins palpable, évidente. Quoi de plus nécessaire, en effet, que ce contrôle tantôt préventif, tantôt répressif, dont le résultat est de préserver le cours des rivières des désordres que les empiétements riverains, les digues, l'insuffisance des débouchés des ponts peuvent y occasionner et des dégâts qui en seraient la conséquence?

Quoi de plus opportun que l'intervention ordinairement officielle et provoquée par des demandes ou par des chocs d'intérêts, souvent officieuse, toujours conciliatrice des ingénieurs et de leurs agents dans toutes les mesures qui précèdent l'organisation définitive des entreprises que nous avons signalées?

Quoi de plus précieux, puis-je dire, que cette action administrative incessante, tutélaire qui, en sauvegardant les intérêts généraux, ménage ceux des tiers, encourage et protége également l'agriculture et l'industrie, prévient les déceptions et les dommages, substitue enfin, avec un impartial désintéressement, les solutions justes et vraies d'une science pratique acquise par d'innombrables applications, aux conflits désastreux qu'un fréquent antagonisme d'individus à individus soulèverait par centaines sur chaque cours d'eau?

Il y a là évidemment un service d'ordre, de régularisation, de conciliation, de protection dont l'absence serait une déplorable lacune dans l'administration des départements, et qu'un gouvernement avancé comme celui de la France ne pouvait laisser péricliter ni languir.

On peut ranger dans la même catégorie l'étude des bonnes conditions d'approvisionnement d'eau dans leurs usages les plus intimement liés à la salubrité du pays, au bien-être et à la santé des populations.

Quant aux documents nombreux que le service hydraulique recueille et élabore, ainsi qu'on l'a vu dans les chapitres I et IV du compte rendu, il est clair que, mis en ordre méthodiquement et présentés avec leurs plus évidents corollaires, ils deviennent un arsenal de ressources à l'usage des ingénieurs et de l'administration.

La connaissance du régime des cours d'eau, de leur pente, de leur volume, de leurs variations, de la marche de leurs crues extrêmes, et celle des faits météorologiques qui occasionnent celles-ci, permet d'apporter un nouveau degré de précision dans toutes les mesures de contrôle et de réglementation dont nous avons parlé, dans les projets et travaux d'aménagement et de réserves d'eau, dans les conditions d'établissement des moteurs usiniers et dans la prévision, jusqu'à ce jour impossible, de l'amplitude des grandes crues et de l'instant où leur maximum aura lieu sur tous les points où il est utile de le savoir à l'avance.

Toutes les données qui précèdent, complétées par celles des qualités usuelles des eaux, des aptitudes hydrauliques du sol et du sous-sol, du degré d'influence que la nature de celui-ci, dans ses rapports avec les effets du drainage et de l'irrigation, peut exercer sur la fertilité de la couche végétative superficielle, sur le gisement et les propriétés des amendements minéraux propres à améliorer aussi les conditions culturales du sol drainé et irrigué, donneront le moyen d'apprécier, avec plus de certitude qu'on n'a pu le faire jusqu'ici, le mérite des entreprises d'hydraulique agricole.

Ajoutons à ce qui précède que la vulgarisation de tous les éléments que nous venons d'énumérer et des statistiques dressées sur les pertes provenant du mauvais régime ou

du non-emploi des eaux, aura encore un autre résultat difficilement saisissable, mais à coup sûr *considérable*, en tant qu'il se traduira en une innombrable quantité de faits utiles, avantageux que chaque propriétaire, cultivateur ou usinier réalisera dans la direction de ses propres travaux et dans la gestion de ses intérêts privés.

Enfin les essais pratiques, seuls propres à impressionner la plupart des hommes, des cultivateurs surtout, l'émission parmi eux de bonnes formules d'association, appuyées d'exhortations administratives et de quelques bons exemples de succès, feront peu à peu pénétrer parmi eux l'*émulation du désir de faire et l'esprit d'association*, auquel ils sont si difficilement accessibles!

Il y a donc, sans contredit, dans l'ensemble du travail initiateur et progressif du service hydraulique, un appoint de nature à compléter, avec toutes les institutions récemment mises en vigueur pour enseigner et encourager l'agriculture, l'ensemble des mesures propres à *préparer les populations à l'ère nouvelle d'activité agricole que l'application du programme impérial de la paix doit prochainement ouvrir en France.*

CHRONIQUE.

Novembre et Décembre 1860.

SOMMAIRE.

Locomotives pour les courbes de petit rayon. — Rectification de priorité. — Action des vers tarets sur les bois injectés.

Locomotives pour les courbes de petit rayon. — M. Detzen, ingénieur des ponts et chaussées, veut bien nous adresser la note que l'on va lire.

L'ingénieur-constructeur de chemins de fer est forcé de subordonner son tracé aux limites des rampes et des rayons des courbes que peuvent franchir les locomotives dans des conditions suffisamment bonnes, d'une exploitation bien entendue, c'est-à-dire sécurité, économie relative.

Construire une locomotive pouvant franchir de longues et fortes rampes et des courbes de 200 à 350 mètres de rayon dans ces conditions, c'est résoudre le problème économique des tracés destinés à relier entre eux les divers bassins géographiques dans le sens d'une exécution rapide et aussi économique que possible.

Cette question si intéressante vient de faire un grand pas en avant par la construction de deux locomotives sorties des ateliers de MM. André Kœchlin et compagnie, et établies d'après un nouveau système, dont l'auteur est M. Édouard Beugnot, ingénieur des locomotives de ce grand établissement.

Nous avons eu occasion d'assister aux essais de l'une de ces locomotives, sur le Central suisse, et nous avons pensé qu'il serait utile d'en faire l'objet d'une note pour la chronique de nos *Annales*.

Ces essais ont eu lieu, du 13 mars au 5 avril dernier, sous le contrôle de M. Riggenbach, ingénieur des locomotives, et Burckhardt, inspecteur de la traction du chemin de fer Central suisse.

Le tableau ci-après, dressé par ces messieurs, donne les circonstances dans lesquelles les essais ont été entrepris et les résultats obtenus :

Dates.	Numéros des trains.	NOMS des conducteurs.	Nombre des essieux du train.	Poids du train.	PARCOURS DU TRAIN	Longueur du parcours.	RAMPES.	Circonstances climatériques.	Temps du trajet.
mars		MM.		k.		m.	kil. millim.		′
13	44	Riggenbach . .	24	90 000	Olten à Laenfelfingen. .	8 500	6 à 25 2 1/2 à 28	Froid sec.	30
15	44	Frey	30	125000	Olten au tunnel.	6 000	à 25	*Id.*	30
21	6	*Id.*	42	160000	*Id.*	6 000	*Id.*	Beau sec.	24
23	10	*Id.*	28	126250	Olten à Laenfelfingen. .	8 500	6 à 25 2 1/2 à 28	*Id.*	30
26	7	Luterbacher. .	38	196850	Lissach à Laenfelfingen.	10000	à 21	Mouillé. .	54
27	43	*Id.*	38	207050	*Id.*	10000	*Id.*	*Id.*	56
28	43	*Id.*	42	220400	*Id.*	10000	*Id.*	Sec. . . .	55
avril 5	43	*Id.*	42	217400	*Id.*	10 000	*Id.*	*Id.*	68

OBSERVATIONS. — Sur les parcours n°s 1 à 4, on trouve des courbes de 360, 390, 485, 494, 510 et 600 mètres de rayon. Sur les quatre derniers parcours, les rayons des courbes sont de 420, 480, 600, 780 et 900 mètres. La rampe de $0^m.028$ est en souterrain. La consommation moyenne en combustible a été de 16 kilogrammes par kilomètre.

Depuis lors, ces deux machines, qui se nomme *la Rampe* et *la Courbe*, fonctionnent sur le chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée, entre Nozère et l'embranchement de Nîmes, sur des rampes variant de 3.5 à 12 millimètres.

Le maximum des charges remorquées a été, dans des expériences faites en juillet dernier sur ce chemin :

De 855 tonnes, sur rampes de 6 millimètres, avec une vitesse de 7 kilomètres à l'heure.

De 635 tonnes, sur les mêmes rampes, avec une vitesse de 12 kilomètres à l'heure.

De 312 tonnes, sur la rampe de 12 millimètres, avec une vitesse de 16 kilomètres à l'heure.

La dépense de combustible, tant sur le Central suisse que sur le chemin français, a varié, suivant les circonstances, de 12 à 18 et 20 kilogrammes de houille.

Les essais auxquels nous avons assisté nous ont démontré que la machine remplit bien toutes les conditions de puissance, de stabilité et de flexibilité que s'est imposées le constructeur, et qu'elle pourra remorquer par tous les temps, dans des courbes de 200 à 300 mètres de rayon et sur des rampes de

25 millimètres, une charge de 120 tonnes à la vitesse de 12 à 16 kilomètres à l'heure, en fonctionnant d'une manière normale. Nous avons même pu nous assurer, dans ces essais, que *la Courbe* peut très-bien franchir des courbes de 100 mètres de rayon, et nous estimons qu'elle serait de nature à y faire un bon service.

Maintenant quelques mots de la machine au point de vue du système ingénieux que M. Édouard Beugnot y a appliqué.

Cette machine est de grande dimension, elle compte huit roues accouplées, chaque essieu supporte un poids qui n'atteint pas 12 tonnes; le surplus du poids de la machine, qui pèse garnie 48 tonnes, est supporté par l'essieu d'avant du tender; les points d'appui sur le tender ont pour effet d'arrêter les inconvénients insolites de galop et de lacet, et de diminuer, par conséquent, les cisaillements des rails par les boudins des roues accouplées et leur rupture par l'inégale répartition du poids de la machine produit par le mouvement de galop.

D'ailleurs, afin d'atténuer le plus possible l'effet produit sur la voie par une charge de près de 12 tonnes par essieu, le constructeur a muni chaque essieu de quatre ressorts, soit dix-huit ressorts, en comptant les deux ressorts de l'essieu d'avant du tender. Il en résulte que lorsque la machine aborde une courbe de petit rayon et s'incline en trouvant le rail intérieur déversé, neuf ressorts interposent leur action entre la chaudière et le rail, atténuant ainsi l'augmentation de pression due au déplacement brusque du centre de gravité de la machine.

Le diamètre des roues de la machine est de 1m.200, et leur empattement de 3m.900. Malgré ce grand écartement des roues extrêmes, la machine peut, ainsi que nous l'avons dit, franchir avec facilité des courbes de 100 mètres de rayon.

Ce résultat est obtenu au moyen d'un système d'articulations réunissant deux paires de roues consécutives, et leur permettant, au moyen d'un jeu de 40 millimètres assuré aux boîtes à graisse extérieures, de se déplacer transversalement à la voie, en suivant les courbes du tracé, tout en restant parallèles à elles-mêmes; un système particulier d'attelage du tender à la machine facilite encore le passage des courbes.

Enfin, le fini de toutes les pièces de la machine est remarquable, et les ajustages faits avec une exactitude qui assure, dans les conditions que l'on s'est posées, une douceur parfaite à tous les mouvements de cette machine.

Rectification de priorité. — M. Bresse, ingénieur des ponts et chaussées, nous prie d'insérer l'observation suivante :

MM. Piarron de Montdésir et Édouard Collignon, ingénieurs des ponts et chaussées, attachés à la grande compagnie des chemins de fer russes, ont récemment publié deux mémoires très-intéressants et très-remarquables sur le calcul des ponts métalliques à poutres droites continues. Tous deux ont cependant commis une erreur de fait qu'il me paraît convenable et juste de rectifier dans l'intérêt de la vérité. Ils m'ont attribué à tort la découverte d'un théorème aussi simple qu'élégant, qui exprime une relation entre les moments de flexion sur trois points d'appui consécutifs.

Tout le monde sait que si l'on veut faire le calcul d'une poutre en cherchant d'abord les réactions des appuis, conformément à la marche suivie par Navier, on est conduit à des calculs longs et pénibles dès que le nombre des appuis atteint seulement quatre ou cinq. M. Clapeyron, auquel la question s'est présentée à l'occasion du pont d'Asnières, a donc introduit l'innovation la plus heureuse quand il a pris d'autres inconnues auxiliaires, savoir les moments de flexion, efforts tranchants et inclinaison de la poutre dans les sections au-dessus des points d'appui. Faire l'élimination partielle d'un certain nombre de ces inconnues entre les équations données par M. Clapeyron, pour en tirer le théorème dont il s'agit, est une idée qui se présente tout naturellement et en quelque sorte d'elle-même. Toutefois, M. Clapeyron ne l'a pas eue le premier, et le mérite en revient à M. Henri Bertot, ingénieur civil, qui a ainsi perfectionné une méthode dont il avait eu occasion de faire usage (*).

Je n'ai eu connaissance du résultat indiqué par M. Bertot que depuis quelques mois seulement; sans cela, j'en aurais bien certainement nommé l'auteur dans mon *Cours de mécanique appliquée* (1er volume, imprimé et publié en 1859). A l'époque où j'ai, pour la première fois, donné le théorème en question (pendant l'hiver de 1857) à mon cours de l'École des ponts et chaussées, j'ignorais également que M. Clapeyron y arrivait de son côté à peu près en même temps. Mais cela me semble avoir peu d'importance; M. Clapeyron est, selon moi, le véri-

(*) Voir les Comptes rendus de la Société des Ingénieurs civils. La première communication de M. Bertot sur ce sujet se trouve pages 278 et suivantes du volume de 1855; elle porte la date du 6 juillet de la même année.

table auteur de la découverte, comme en ayant produit l'idée mère, et je n'ai jamais songé à me faire un grand mérite de quelques lignes de calculs ajoutées à ses équations.

En terminant, je saisis cette occasion pour remercier MM. de Montdésir et Collignon de leurs appréciations bienveillantes; mais je ne pouvais retenir pour moi des éloges qui s'adressent à une autre personne.

Action des vers tarets sur les bois injectés.— La *chronique* de mars et avril 1859 renferme une notice sur l'inefficacité des injections faites par le procédé Boucherie pour préserver les bois employés à la mer des attaques des tarets. M. Daguenet, ingénieur des ponts et chaussées à Bayonne, veut bien nous adresser une observation qui confirme celle que nous venons de rappeler.

Le problème de la préservation des bois contre l'action des tarets reste donc à résoudre. La science indique aujourd'hui quelques procédés nouveaux qu'il serait bien désirable de voir essayer dans nos ports.

Le port de Saint-Jean-de-Luz-Socoa, dit M. Daguenet, est infesté par les vers tarets qui n'ont jamais permis jusqu'ici, quelles qu'aient été d'ailleurs les précautions prises, d'y faire de construction durable en bois. Il était intéressant de connaître quelle serait l'influence sur la conservation des bois dans ces conditions, des procédés d'injection employés depuis quelques années. Nous avons fait à ce sujet une expérience directe dont nous allons rendre compte.

Nous avions remarqué qu'nne échelle en bois pour observer la hauteur des marées avait été rongée par les tarets, et s'était trouvée en peu de temps hors de service. Le 17 juin 1859, nous avons fixé verticalement contre le parement de la digue, à côté de l'échelle des marées, trois pièces de bois, que nous désignerons par les n°s 1, 2 et 3.

Le n° 1 est un tronc de pieu en pin écorcé de 5^{m}.30 de longueur, 0^{m}.35 de diamètre moyen, préparé au sulfate de cuivre et fourni par MM. Norès et compagnie, cessionnaires du brevet Boucherie. Le n° 2 est un tronc de hêtre non écorcé de 5^{m} 25 de longueur, 0^{m} 34 de diamètre moyen, préparé au sulfate de cuivre et fourni aussi par MM. Norés et compagnie, cessionnaires du brevet Boucherie. Le n° 3 est un gros madrier en pin équarri de 2^{m}.80 de longeur, 0^{m}.30 de largeur et 0^{m}.17 d'é-

paisseur, préparé à la créosote en juillet 1857 pour le chemin de fer de Séville à Cordoue, et fourni par M. Williams Hutchison, représentant à Bordeaux de M. John Bethell, de Londres, inventeur de ce genre d'injection. L'extrémité inférieure de ces pièces est au niveau des basses mers.

Le 11 janvier 1861, l'examen de ces bois a donné les résultats suivants :

La pièce n° 1 est criblée de trous de tarets à sa partie inférieure, et le mal s'étend en décroissant du bas en haut sur 0^m 60 de hauteur. La surface du bois présente quelques parties saines, mais en petit nombre.

La pièce n° 2 est à peu près dans le même état, elle est attaquée sur la même hauteur, quoique avec un peu moins d'intensité.

La pièce n° 3 est en plus mauvais état que les deux autres ; elle est attaquée sur 1^m.50 de hauteur à partir de l'extrémité inférieure.

Bien que ces pièces soient placées verticalement dans une position qui semble moins favorable pour être délavée, que si les fibres ligneuses étaient horizontales et parallèles aux courants de flot et de jusant, le sulfate de cuivre, sur les pièces n° 1 et n° 2, paraît avoir disparu sur 1^m.50 de hauteur, tandis qu'il est bien apparent au-dessus.

L'échelle des marées qui est placée entre les deux billons est attaquée sur 0^m.90 de hauteur, elle est en sapin de 0^m.02 d'épaisseur sur 0^m.10 de largeur; elle a été placée au mois de septembre 1858, sans autre préparation que de la peinture ordinaire.

En définitive, les constatations faites au Socoa montrent déjà que l'injection par le procédé Boucherie ne serait pas de nature à y prolonger la durée des bois, et que la préparation à la créosote, préconisée pourtant comme efficace contre les tarets par quelques ingénieurs anglais, paraît donner des résultats encore moins satisfaisants.

TABLES DES MATIÈRES

DISPOSÉES

PAR ORDRE D'INSERTION ET PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE,

POUR

LES MÉMOIRES ET DOCUMENTS

PUBLIÉS EN 1860.

2e SEMESTRE.

PREMIÈRE TABLE.

RÉCAPITULATION GÉNÉRALE PAR ORDRE D'INSERTION.

DEUXIÈME TABLE.

ANALYSE DES MATIÈRES PAR ORDRE ALPHABÉTIQUE.

D

E

R

S

FIN DES TABLES DES MÉMOIRES DU 2e SEMESTRE 1860.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Ce, rue Racine, 26.



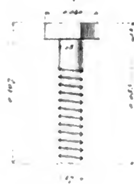
élipse extérieure.



C. Fig. 19.

Vue de fond





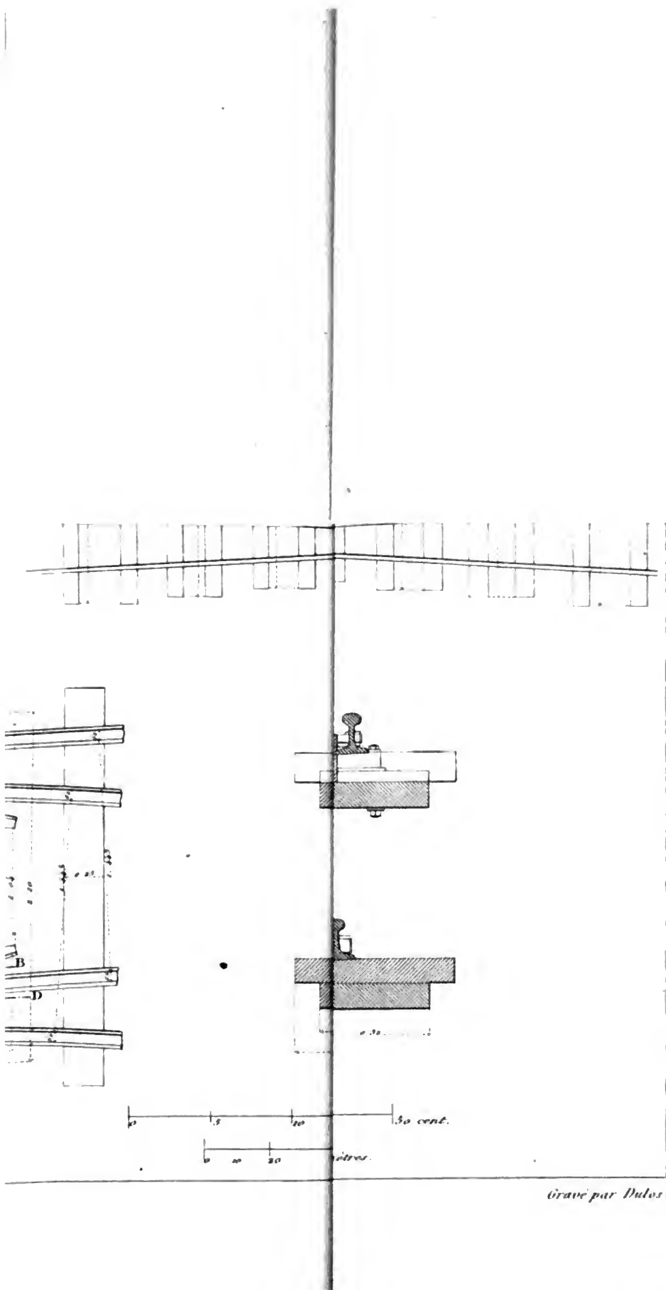


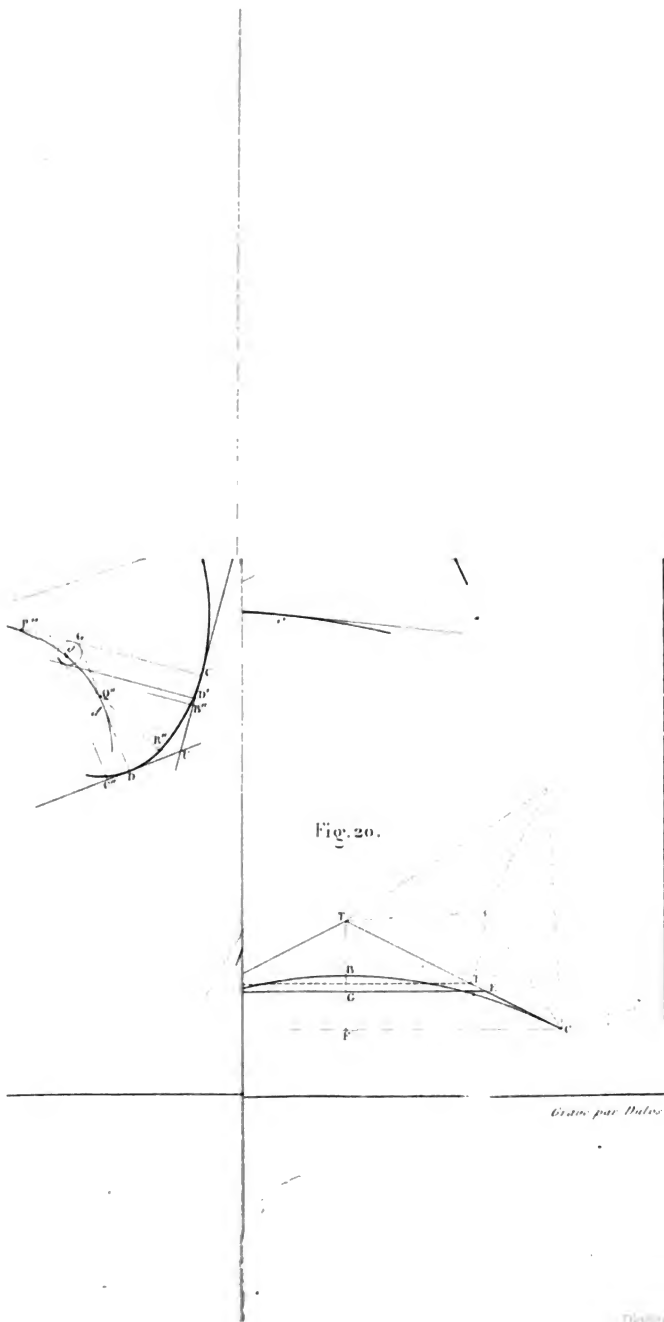


lle de 0m.30 pour mètre.



Gravé par Dulos

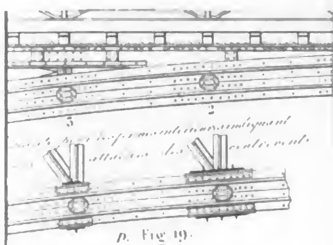

B
D
0
5
10
30 cent.
0
10
20
mètres.
Gravé par Dulos



Gravé par Dulos

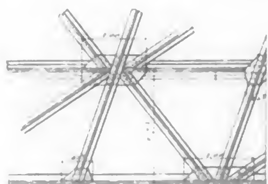
Fig. 18

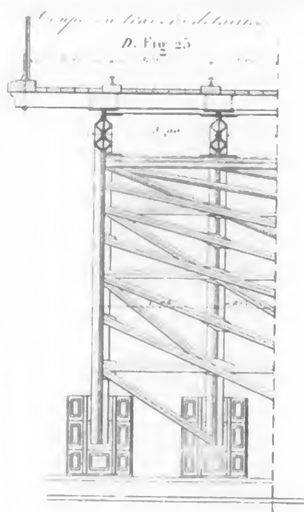
Fig. 21



D. Fig 19.

D. Fig 20.



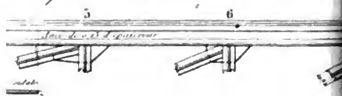


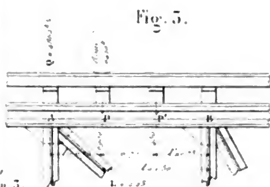
Echelle B de ... mètre

Gravé par Dulos

...ème, et Calculs des momens

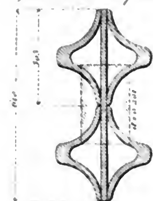
. Épure du longeron.

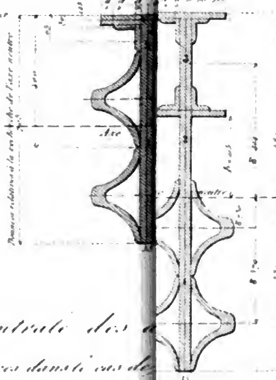


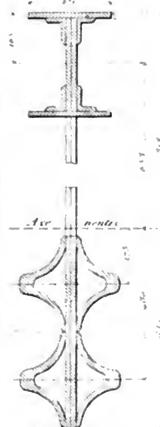


0. Section 3.
A. Fig. Fig. 22.

Section 4.
A. Fig. 23.



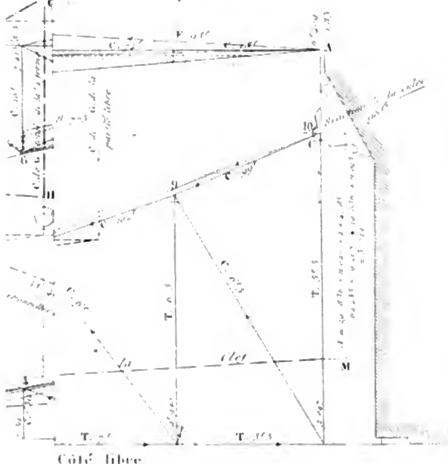




...la partie centrale des a...

...ef et aux naissances dans le cas de...





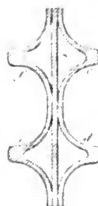

Fig. 11

Fig. 12.

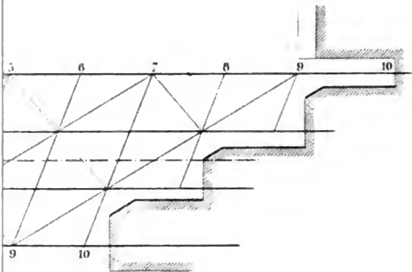
Fig. 9.

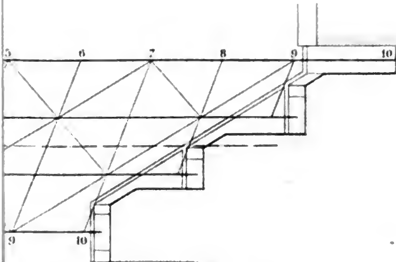
Fig. 10.

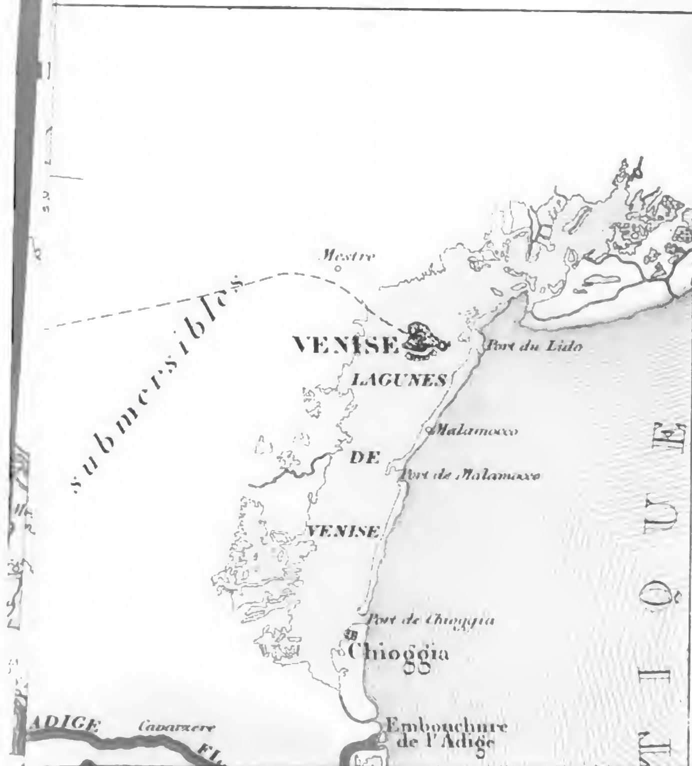

Section 6.


Section 5.

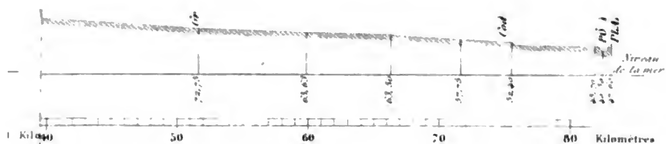



5
6
7
8
9
10
9
10

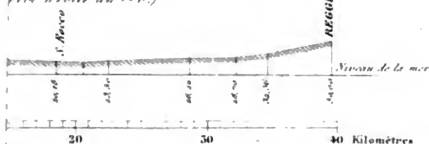

5
6
7
8
9
10
9
10

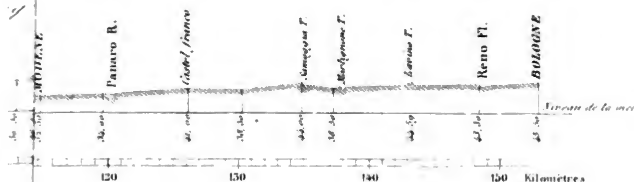


Mestre
submersibles
VENISE
Port du Lido
LAGUNES
Malamocco
DE
Port de Malamocco
VENISE
Port de Chioggia
Chioggia
ADIGE
Cavarzere
Embouchure
de l'Adige

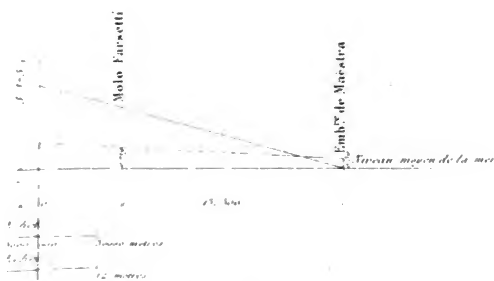


n travers de Borgoforte à Reggio
(Rive droite du Pô.)





Gravé par Dulos.


Polesella
Molo Farsetti
Embb.re de Maestra
Niveau moyen de la mer
gravé par Palos


UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 01371 3493

